

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院 情報システム学研究科情報メディアシステム学専攻 博士前期課程		
氏 名	熊倉 啓	学籍番号	1250012
論 文 題 目	高速画像提示下における視覚情報処理に関する研究		
<p>要 旨</p> <p>本研究は視覚情報処理の研究で、人間の目に見えるものが脳でどのように処理されるか調べるものである。本研究ではそれを調べるための一つの題材として、視覚的注意に着目した。視覚的注意とは、「情報処理を行なうべき空間的範囲を限定して情報処理効率を促進する」機能のことである。</p> <p>視覚的注意について、過去に複数の研究が行われた。その中で選択反応課題という実験課題が行われた。これは初期画面から複数の位置から一つの位置に提示される目標に対し、参加者は複数のボタンから目標の位置に対応するボタンをなるべく早く正確に押すという課題である。ここで、ランダムで選ばれる視覚刺激が提示されてから被験者がボタンを押すまでの選択反応時間を記録する。</p> <p>この選択反応課題においてちらつきが知覚されない高速フリッカを標的位置に提示すると選択反応時間が短縮することが報告された (Bauer et al., 2008; Lu et al., 2012) 。しかし、これらの現象が標的位置に高速フリッカの提示されるときのみ有効か、標的位置以外で高速フリッカを提示しても同様の効果を得られるのかは議論の余地がある。そこで本研究では、標的位置以外で高速フリッカを提示する例として視覚刺激の背景領域への高速フリッカの提示を例に取り、背景領域への高速フリッカの提示が選択反応課題の反応時間に与える影響について検討した。</p> <p>実験では、注視点の左右に正方形を 1 秒間提示した後、一方を水平方位、他方を垂直方位の長方形に変化させた。被験者は水平方位の長方形の位置をできるだけ早く正確に回答した。実験の結果、特定のフリッカの周波数で背景の高速フリッカの有無により反応時間に有意な差が見られた。</p> <p>しかし、実験手続きに改善の余地があり、明確な結論を出すためにはさらに確固とした実験結果を出すことが望まれる。</p>			

平成 25 年度 修士論文

高速画像提示下における視覚情報処理に関する研究

電気通信大学 大学院 情報システム学研究科
情報メディアシステム学専攻 人間情報学講座

学籍番号：1250012 名前：熊倉 啓

指導教員 阪口 豊 教授
佐藤 俊治 准教授
田野 俊一 教授

提出日：
平成 26 年 1 月 27 日(月)

目次

内容

第1章 はじめに	1
1.1 研究の背景	1
1.2 問題提起	2
1.3 実験の概要	2
第2章 視覚的注意に関する従来知見	3
2.1 注意による選択	3
2.2 視覚的注意の実験方法の例	3
2.3 閾下知覚	5
2.4 フリッカ知覚と限界融合周波数	7
2.5 Bauer らの研究	7
2.6 Lu らの研究	12
2.7 本研究の目的	18
第3章 実験	20
3.1 実験1	20
3.1.1 実験1の目的	20
3.1.2 参加者	20
3.1.3 実験装置	20
3.1.4 視覚刺激	21
3.1.5 一試行の流れ	23
3.1.6 実験条件	24
3.1.7 実験の手続き	25
3.1.8 実験結果	25
3.1.9 考察	28
3.2 実験2	29
3.2.1 実験2の目的	29
3.2.2 参加者	29
3.2.3 実験装置	29
3.2.4 視覚刺激	29
3.2.5 一試行の流れ	30

3.2.6	実験条件.....	31
3.2.7	実験の手続き	31
3.2.8	実験結果.....	32
3.2.9	考察.....	37
3.3	実験 3.....	37
3.3.1	実験環境の変更.....	37
3.3.2	参加者.....	38
3.3.3	視覚刺激.....	38
3.3.4	一試行の流れ.....	39
3.3.5	実験条件.....	40
3.3.6	実験の手続き	41
3.3.7	弁別課題の目的.....	41
3.3.8	視覚刺激.....	41
3.3.9	一試行の流れ.....	41
3.3.10	実験の手続き	42
3.3.11	実験結果.....	42
3.3.12	実験の考察.....	48
3.3.13	後半4ブロックのみで解析を行った場合	48
第4章	むすび.....	52
	参考文献.....	53
	謝辞.....	55

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

本研究は視覚情報処理の研究で、人間の目に見えるものが脳でどのように処理されるか調べるものである。本研究ではそれを調べるための一つの題材として、視覚的注意に着目した。視覚的注意とは、「情報処理を行なうべき空間的範囲を限定して情報処理効率を促進する」機能 [1] のことである。なお、視覚的注意の神経メカニズムは視覚科学の重要な問題として残っている。これが解決できると人間の視覚情報処理のメカニズムの解明に大いに役立つ。

視覚的注意については、過去に多数の研究が行われた。その中で代表的な実験手法が選択反応課題という実験課題である。これは初期画面から複数の位置から一つの位置に提示される目標に対し、参加者は複数のボタンから目標の位置に対応するボタンをなるべく早く正確に押すという課題である。なお、実験では複数の位置からランダムな位置に選ばれる目標が提示されてから参加者がそれに対応するボタンを押すまでの反応時間を記録する。例えば、初期画面で注視点とその左右等距離に正方形の枠（対象）が提示される。そこから、一方の場合では左側の正方形の中身に目標が提示され、もう一方の視覚刺激には右側の正方形の中身に目標が提示される。参加者の手元には2つのボタンがあり、左側の正方形に目標が現れたら左側のボタン、右側の正方形に目標が現れたら右側のボタンをなるべく早く押すという課題を設定する。実験では目標が提示されてから参加者がそれに対応するボタンを押すまでの反応時間を記録する。これを複数の参加者に複数の試行を行い、平均値や中央値を求めることで最終的な実験結果を得る。なお、選択反応課題の詳しい内容については後述する。

Posner et al. [2] は選択反応課題を用いて目標を提示させる部分に、事前に目標の位置を知らせる手がかりを提示した方が手がかりを提示しない場合より反応時間が短いことを示した。さらに、Bauer et al., 2009 [3] は、見えない手がかりを提示した場合、提示された部分の反応時間が短いことを示した。Lu et al., 2011 [4] は、複数の対象に見えない手がかりを提示しても、提示しない場合より反応時間が短いことを示した。なお、見えない手がかりは高速フリッカ（高速な点滅）のことである。フリッカの周波数が高すぎると人間には点滅しているかしていないか判別できない。つまり、手がかりが特定の位置にあるのかがわからないということである。

1.2 問題提起

これらの高速フリッカが反応時間を短くさせる現象について、高速フリッカが提示される位置に対してのみ有効なのか、高速フリッカの提示自体により引き起こされるのかは議論の余地がある。本研究では、高速フリッカの提示自体により引き起こされると仮定して、それならば背景領域（対象以外）に高速フリッカを適用しても高速フリッカが無い場合より反応時間を短くなるであろうと考えた。そこで背景領域の高速フリッカの有無により選択反応課題の反応時間に差が出るのか明らかにするために、実験を行った。この実験でもし高速フリッカ有の反応時間が高速フリッカ無の反応時間より短かった場合、背景の高速フリッカの有無を参加者が分からないのに背景を高速フリッカさせることで反応時間が短くなるということが示せる。これは閾下知覚についても新たな知見を与えることができる。なお、閾下知覚とは参加者が気づかない刺激が、認知や行動に影響を与える現象である [1]。また先程の高速フリッカが反応時間を短くさせる現象について、周波数によっても程度が異なることから、どのくらい高い周波数の高速フリッカにおいてそれらの効果が観察されるかも明らかにする。

1.3 実験の概要

本研究では上記の目的を満たすために3つの実験を行った。1つ目の実験は高速プロジェクタで Bauer らの実験の追試を行った。なお、本研究は視覚刺激提示装置として従来の CRT ディスプレイではなく、高速プロジェクタを利用した。これは高速プロジェクタを利用すると従来より高い周波数で実験を行うことができるからである。具体的には CRT ディスプレイのリフレッシュレートの限界は 200 Hz 程度であるが、本研究で用いた高速プロジェクタではグレースケール (8bit) で最大 700 Hz、白黒画像 (1bit) で最大 5000 Hz となる。2つ目の実験はグレースケール (8bit) で背景領域を高速フリッカしない場合とする場合で反応時間に差が出るのか明らかにする実験を行った。しかし、2つ目の実験では実験手続きに問題があるのが分かり、3つ目の実験として、白黒画像 (1bit) で同様の主旨の実験を行った。なお3つ目の実験では背景領域を高速フリッカしない場合とする場合で主観的な見えに違いがない事を確認するために、2つの条件の弁別課題も行った。これは背景領域を高速フリッカしない場合とする場合で見えを合わせるために、実験者が手作業で LED の強度 [%] を調整したからである。

第2章 視覚的注意に関する従来の知見

2.1 注意による選択

網膜にある錐体は1眼に600万個程度、桿体は1億個程度 [5] でそれらが光刺激を受け続けていることを考えると、我々が受容する視覚情報がいかに膨大であるか分かる。各錐体、桿体の応答がそのまま大脳視覚野に伝達されるわけでないが、それでも網膜からの出力である視神経の数は100万本程度と見積もられている。しかし、全ての視覚情報が意識にのぼるわけではなく、選択処理されていると考えられる。注意はその情報選択の機能を示す [6] 。

しかし、視覚情報の選択が脳のどこでどのように行われているかまだ不明な点が多い。そこで過去にサルを対象とした動物実験やヒトを対象とした心理物理実験により、視覚的注意の神経メカニズムを明らかにしようと研究が行われてきた。

その中の一人に Posner という心理学者がいた。次節に Posner が始めたといわれる、注意に関する典型的な実験方法を示す。

2.2 視覚的注意の実験方法の例

以下に Posner が始めたといわれる実験方法を示す。この実験では、二か所以上の位置のいずれかに目標刺激が提示され、参加者はその目標刺激を検出・弁別・識別してボタンを押すなどの方法で回答する。この際、目標刺激が提示される直前に、複数の位置のいずれに刺激が提示されるかを予告する手がかり刺激を提示する（実験によっては、実際の目標刺激と異なる位置に手がかり刺激を提示する条件を混ぜて行なうこともある）。この際、手がかりが提示された条件と提示されない条件とのあいだで、参加者が応答するまでの時間を比較すると、手がかりが提示された条件の方が反応時間が短くなるというのが典型的な結果である。

以下に、実験手続きの例を具体的に説明する。

図1のように暗室の中で参加者の手前にモニターがあり手元に2つのボタンがある。まず、モニターの画面の移り変わりについて説明する。モニターには左右に2つの四角形があり、これらが目標刺激が提示される場所を示している。実験の試行中は初期画面 → 手がかり刺激の提示 → 目標刺激の提示、あるいは、初期画面 → 手がかり刺激なし → 目標刺激提示 の順序で画面が切り替わる。

手がかり刺激として、どちらかの四角形が白く光る。さらに検出すべき目標刺激として、左右の四角形の一方に例えばアスタリスク（*）を提示する。参加者は目標刺激が提示されたらそれに対応するボタンをなるべく早く押す。実験ではそれぞ

れの条件で目標刺激が提示されてから参加者がそれに対応するボタンを押すまでの時間を計測し、条件間で反応時間の差を比較する。なお、このような課題を使った研究は過去に多数のある [2] [3] [4] [7] 。

ここで、手がかりと同じ位置に 80 % の確率で目標が提示され、手がかりと異なる位置に 20 % の確率で目標が提示される場合を考える。この時、反応時間は 一致条件 < 中立条件 < 不一致条件 になる。中立条件と有効条件の差分が注意によって得られた促進効果と考えられ、これを利得と呼ぶ。逆に、中立条件と無効条件の差分が、注意が他に向けられていたための遅延効果と考えられ、損失と呼ぶ。注視点とは別の位置に手がかりと目標が提示されるのだから、このような性質の変化は、視線を向けるといった意味での固視の効果ではないことが明らかである。すなわち、手がかりの位置を固視していなくても注意を向けることによって手がかりの効果は存在する。これによって視覚的注意の存在が決定的になった。また、視覚的注意がある空間的な範囲で処理効率をあげることから、その機能はスポットライトにたとえられた [1] 。

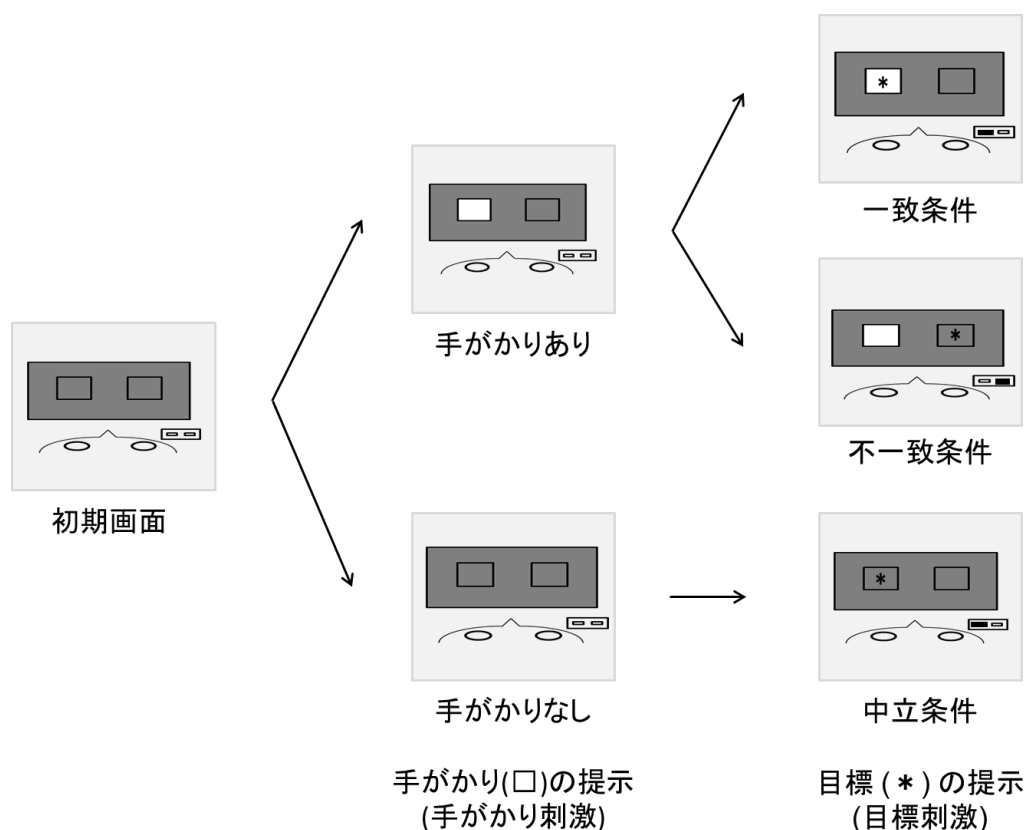


図 1 Posner パラダイムと呼ばれる選択的注意に関する実験方法

2.3 閾下知覚

閾下知覚 (サブリミナル知覚) とは、参加者が気づかない刺激が、認知や行動に影響を与える現象である [1]。例えば、Wilson ら [8] は閾下知覚が選好に影響が出ることを示した。具体的に、1 ms という認知できないほどの短時間で見た視覚刺激を、その後の選好時参加者が偏って選ぶことが示された。

まず、Wilson らの実験のポイントについて説明する。Wilson らの実験では、2 つの実験が行われた。実験課題 1 では 1 ms という短時間視覚刺激を見せた。実験課題 2 では実験課題 1 で見た視覚刺激と他の視覚刺激を同時に見せ、どちらが好きか、実験課題 1 で見た刺激はどちらかを質問した。すると、実験課題 1 で見た刺激がどちらか分からなかった (弁別率 $\approx 50\%$) が、実験課題 1 で見た視覚刺激が好きだと答えた割合が多かった。

さらに Wilson らの実験について詳細に説明する。

人間は繰り返し影響を与えられた物に対して偏好があることが知られていて [9]、影響が極短時間でも同じように偏好があるか確かめるために実験を行った。参加者は合計 24 人だった。実験器具は横 23 cm で縦 17 cm の背面投影で視距離は 91 cm だった。視覚刺激として、20 枚で 1 枚ごとに違う不規則な八角形が使われた。なお 20 枚の視覚刺激の背景は白で、不規則な八角形が黒で塗りつぶされている。20 枚のうちの 10 枚を set A、残り 10 枚を set B とした。

実験では 24 人の参加者を 6 人で 4 グループに分けた。

表 1 Wilson らの実験参加者のカテゴリ分け

被験者の数	6	6	6	6
実験課題1で見せた刺激	Aのうち5つ	Bのうち5つ	Aのうち5つ	Bのうち5つ
実験課題2で見せた刺激	実験課題1, B	A, 実験課題1	実験課題1, B	A, 実験課題1
回答の順番	選好→弁別	選好→弁別	弁別→選好	弁別→選好

この実験は実験の説明と実験課題 1 と実験課題 2 があった。

実験の説明で参加者は次のことを知らされた。この実験は 2 つの部分で構成され、1 つ目の実験は写真が提示されるが、極短時間なので何が現れたか分からない可能性がある。

実験課題 1 の時には時間間隔を置き、A のうち 5 枚もしくは B のうち 5 枚をランダムで 1 ms ずつ提示した。参加者には普段は真っ黒の画像が提示され、視覚刺激を提示される時はフラッシュに近いものが見えた。

実験課題 2 では画面を 2 つに分け、片方は実験課題 1 で提示した画像をもう一方は実験課題 1 で提示しなかった set の画像を提示された。実験課題 2 を 1 s 提示した後、参加者はどちらの視覚刺激が好きか (選好)、どちらの視覚刺激が実験課題 1 の時出た刺激か (弁別) と選好と弁別の確かさ (推測、半分確か、確か) を回答した。なお、選好と弁別の回答の順番は表 1 のように参加者により異なる。実験では実験課題 2→実験 (選好、弁別) を 10 回繰り返した。また、確かさについて推測を 1 ポイント、多分確かを 2 ポイント、確かを 3 ポイントとしてポイントを記録した。

Wilson らの実験の結果を図 2 に示す。これらの図で、横軸は確かさの 3 つの要素 (推測、半分確か、確か)、縦軸は確率を示す。黒で塗りつぶされた棒は弁別率、斜線の入った棒は偏好率 (選好時、実験課題 1 を選んだ割合) を示す。弁別判断に対する確信度は 48 %であった。しかし、選好では 60 %の試行において事前に提示された刺激が新しい刺激より好きだと答えた。 ($\chi^2 = 8.44, P < 0.01$)。弁別率は推測で 47 %、半分確かは 49 %、確かは 45 % だった。しかし、推測の時の偏好率は 48 %だが、半分確かは 63 %、確かは 60 %だった。

確かさについて、選好の方が弁別より高かった。確かさの全体の平均で、選好の場合は 2.29 で弁別の場合 1.60 となった。 [$t(23) = 6.66, P < 0.01$]。

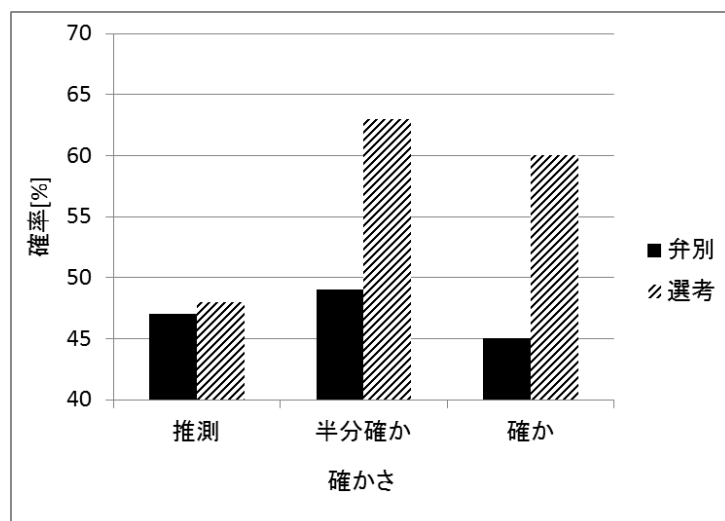


図 2 Wilson らの実験結果

この実験結果より弁別はチャンスレベルだが、選好の時は既提示図形を選ぶ確率が有意に高くなることが分かった。これにより、意識的な再認はできなくても、閾下知覚が選考に影響を与えていると言える。

2.4 フリッカ知覚と限界融合周波数

光刺激が明滅を繰り返すとちらつきが知覚される。刺激の時間周波数を増加させると、ちらつき感が徐々に弱くなり、やがて明滅が融合 (fusion) されて一様な光刺激が観察される。融合が起こる周波数を限界融合周波数 (critical fusion frequency あるいは critical flicker frequency: CFF) と呼ぶ [10]。

明滅刺激の CFF は図 3 [11] のように刺激の輝度によって異なる (SFF: Stable Fusion Frequency は、定常光での提示状態と同じように見える点滅周波数)。

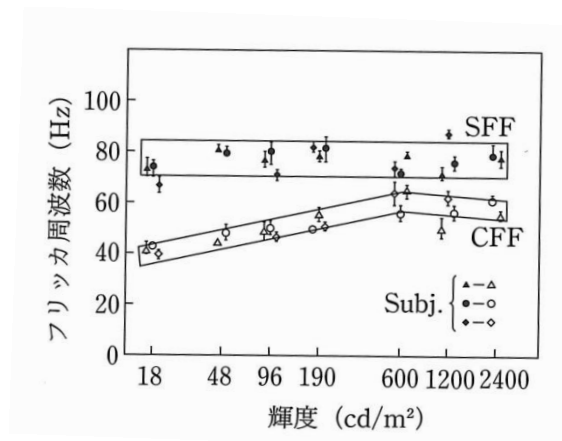


図 3 点滅光刺激が見かけの明るさ知覚

なお、赤と緑のフリッカについて、25 Hz 以上の同じ輝度の赤と緑が交互に提示された場合、参加者には一つの黄色として知覚される [4]。

本研究では高速フリッカを明暗の場合では 70 Hz 以上のフリッカ、赤と緑の場合では 25 Hz 以上のフリッカとする。

2.5 Bauer らの研究

2.3 節では閾下知覚の実験の例を示し、閾下知覚の存在を示した。次はちらつきが知覚できない (閾下) の高速フリッカが選択反課題の成績に影響を与えるという Bauer らの実験 [3] について説明する。

まず、Bauer らの実験のポイントについて説明する。Bauer らは 2 つの実験を行った。1 つ目は見えない手がかり（高速フリッカ）を用いた選択反応課題を行った。2 つ目は手がかりが閾下であることを確認するために弁別課題を行った。2 つ目の実験では弁別率が約 50 % で手がかりが閾下であることを示した。さらに、1 つ目の実験で見えない手がかりと目標が同じ位置の反応時間が違う位置の反応時間より有意に短く、見えない手がかりが反応時間を短くすることを示した。

さらに Bauer らの実験の詳細について説明する。Bauer らは視覚的注意の神経メカニズムの解明を念頭に置き、その中でもガンマ波 (40~70 Hz) の注意仮説に着目した。これは、ガンマ波のフリッカが視覚的注意を促進するのではないかという仮説 [12] [13] [14] である。この仮説を検証するために、Bauer らは 2 つの実験を行った。

実験課題 1 と実験課題 2 で、20 人の参加者が双方の実験を行った。全ての実験は暗い明りの部屋で行われた。刺激は VSG 2/5 system (Cambridge Research Systems) on a Sony Trinitron multiscan E450 monitor (800×600 pixels) を使って提示された。モニターのリフレッシュレートは 60 Hz (フリッカの周波数は 30 Hz) もしくは 100 Hz (フリッカの周波数は 50 Hz) であった。参加者は顎台を使って頭の位置を固定し、視距離 (57 cm) を維持した。また 3 つのボタンがある箱を使って参加者が反応した。

実験では、図 4 のように画面に三つのガボールパッチ（四正弦波にガウス分布形の振幅変調を加えて作った刺激：大きさは 3 度、空間周波数は 2 cpd、ガウス分布の広がりが 0.45 度）を提示した。視野の中央には十字の注視点があった。背景は明るい灰色でその輝度はガボールパッチの平均輝度に等しかった。三つのガボールパッチは視野角 6 度の円周上に等間隔で配置した。

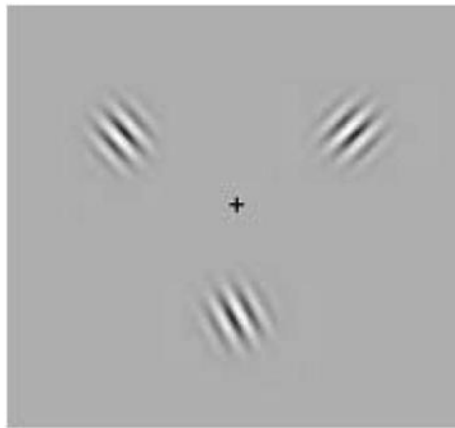


図 4 Bauer らが実験で用いた刺激

各試行では図5のように三つのパッチのうちの 하나가50 Hzもしくは30 Hzで1秒間フリッカ (点滅) した. これが手がかり刺激である. この後, 一つのガボールパッチの空間周波数を0.14 cpdに変化させた刺激 (目標刺激) を提示した. 参加者の課題は, この周波数が変化したパッチ (目標) を検出してできるだけ早く対応するボタンを押すことである (3AFC: alternative forced choice) .

目標の位置とフリッカの位置は目標50 %の割合で一致し, 50 %の割合で不一致であった. 試行と試行の間隔は1 秒間で, 1 セッションは50 試行×5 ブロックとした. 課題の誤答率は課題10 %未満だった.

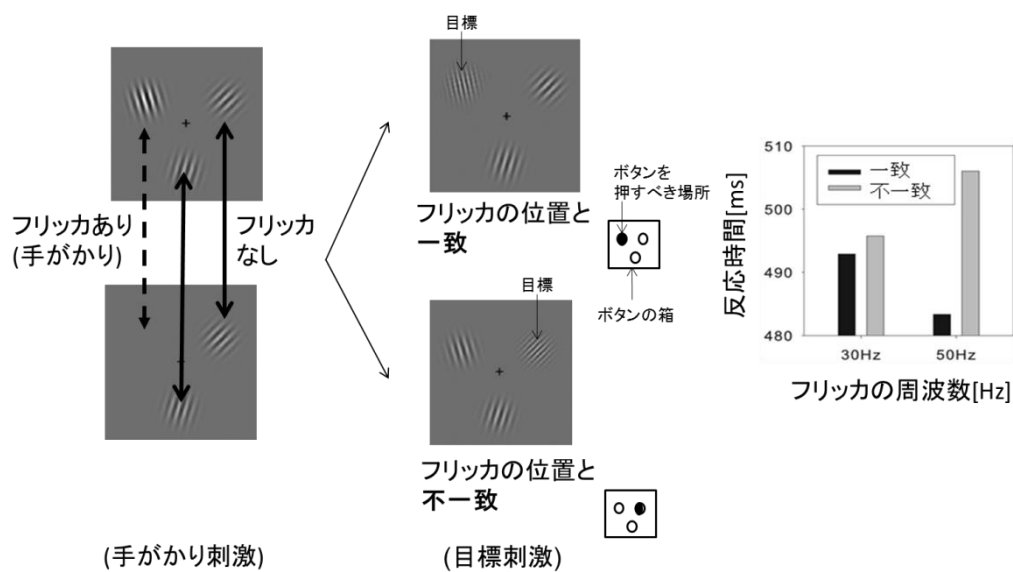


図 5 Bauer らの実験手続き

なお, Bauerらの実験課題1で参加者が手がかりを知覚していないことを確認するために, 実験ではフリッカを検出する課題を行った. この課題で参加者は, 図6に示した布置で提示される視覚刺激を見て, 3つのパッチのうちどのパッチが他の2つと違って見えるか答えるように指示された. 3つのパッチのうちの1つはフリッカする刺激であり, 他の2つはフリッカしない刺激である. 試行回数は180 回である. この課題は非常に大変なため, 参加者のやる気を保つために, 試行中にダミーとして検出しやすい刺激を加えた.

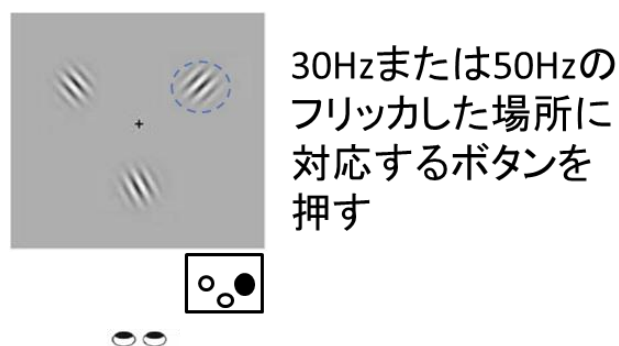


図 6 Bauer らの実験課題 2

実験課題1の実験結果は図7のようになった. 図7の縦軸は反応時間, 横軸は目標のフリッカの周波数を示している. また, 黒で塗りつぶされた棒はフリッカと目標が一致した場合の反応時間の平均値, 灰色で塗りつぶされた棒はフリッカと目標が不一致だった場合の反応時間の平均値である.

50 Hzの実験課題2の正答率は図8に示したように, チャンスレベル(34%)であった. このことは50 Hzのフリッカ刺激が知覚されなかった (つまり閾下であった) ことを示している. 一方, 30 Hzのフリッカ刺激の場合, フリッカの検出が難しくなるようにコントラストを調整したにもかかわらず, 正答率は42 % (SE 1 %)であり, チャンスレベルよりも有意に高かった.

また, 図8に反応時間における一致の効果 (一致条件の反応時間と不一致条件の反応時間の差) を示した. 50 Hzの条件で頑健な一致効果 (23 ms, SE = 4 ms, $t(19) = 9.34$, $P < 0.001$) が得られたのに対し, 30 Hzの条件では明確な一致の効果は得られなかった (3 ms, SE = 7 ms, $t(19) = 0.44$).

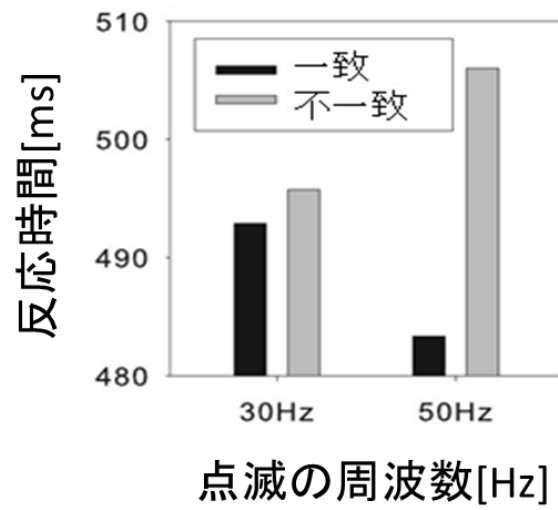


図 7 Bauer らの課題 1 の結果

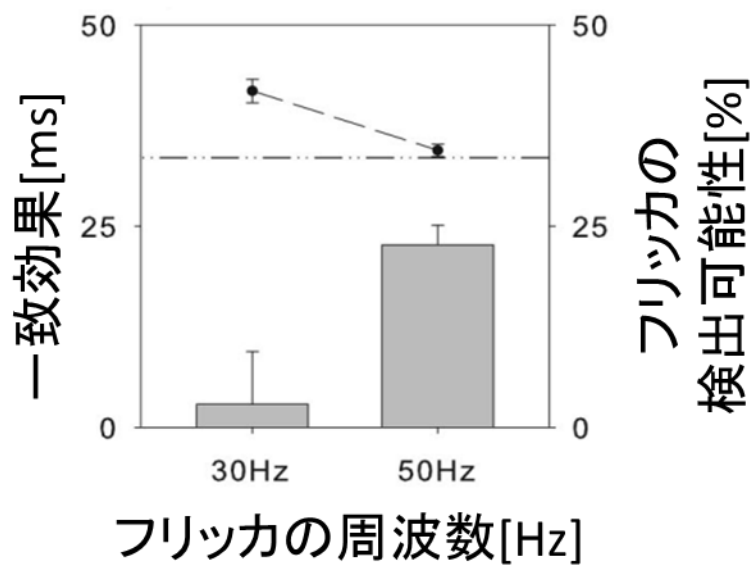


図 8 Bauer らの課題 2 の結果

Bauer らの実験では閾下の特定周波数 (50 Hz) のフリッカ刺激が目標を検出する感受性を高め、実験課題 1 の反応時間を短くする効果を生み出すことを明らかにした。この発見は、閾下の一定時間継続するフリッカの手がかりによって注意の方向付けが生じることを示している。

2.6 Lu らの研究

次に、本研究との関連が深い先行研究の 1 つとして、Lu らの実験 [4] を紹介する。Lu らの実験により、複数の対象に見えない手がかりを提示しても、提示しない場合より反応時間が短くなることが示された。

まず、Lu らの実験のポイントについて説明する。Lu らは 2 つの実験を行った。1 つ目は 2 つの対象 (object) 両方に見えない手がかり (高速フリッカ) を提示する選択反応課題を行った (実験 1a)。2 つ目は手がかりが閾下であることを確認するために弁別課題を行った。2 つ目の実験では弁別率が約 50 % で手がかりが閾下であることを示した。さらに、1 つ目の実験で複数の対象に見えない手がかりがある場合が無い場合より反応時間が短いことを示した。なお、実験 1b では 2 つの対象 (object) の片方に見えない手がかり (高速フリッカ) を提示する選択反応課題も行っている。

さらに Lu らの実験の詳細について説明する。Lu らは見えない手がかり (CFF 以上の高速フリッカ) を提示された場合でも、警戒状態と選択状態 (視覚的注意は警戒状態と選択状態の 2 つの段階があると言われている。まず警戒状態は重要な視覚情報を処理するための準備段階、選択状態は視覚情報から空間的範囲を限定し、必要な情報を選ぶ段階である [4]) が自動的に変化するのかという問いを立てた。その問いに答えるために、フリッカ無しの場合とフリッカ有りの場合の反応時間に差があるか調べる実験を行った。

参加者は 18 歳から 31 歳の 85 人の女性と 41 人の男性で実験が行われた。刺激は 19 inch Philips Brilliance109 P monitor で Matlab と Psychophysics Toolbox を用いて提示された。モニターのリフレッシュレートは 85 Hz, 120 Hz, 150 Hz だった。

実験では背景の平均輝度 $1.52 \text{ cd}/(\text{m}^2)$ のグレーで注視点を中心として、左右等距離に正方形の黒い枠 (視野角 2 度×2 度) を提示した。注視点の中心と正方形の枠の中心は視野角 5 度だった。

各試行では、正方形の中身のみが時間的に変化する。試行の初めに、初期画面として双方の正方形の枠の中身は静的な黄色になり、500 ms 秒提示された。その後、手がかり刺激で色のフリッカの手がかりが 376 ms (85 Hz で 32 フレーム分)、400 ms (120 Hz で 48 フレーム分)、373 ms (150 Hz で 56 フレーム分) 提示された。次に、双方の正方形の中身が静的な黄色の刺激が一定時間提示された。次に、目標刺激として左右の正方形のどちらかの内部に目標として黒の 45 度傾いた棒が 200

ms 提示された。最後に、正方形の中身は背景輝度と同じ明るさのグレーになり、参加者が応答するまで提示された。

手がかりが提示されてから目標が提示されるまでの時間 (SOA) は各リフレッシュレートで約 450, 600, 900 ms の 3 通り設定された。また、見えない手がかり (CFF 以上の高速フリッカ) の場合、フリッカの周波数は 42.5 Hz (リフレッシュレートが 85 Hz の場合) , 60 Hz (リフレッシュレートが 120 Hz の場合) , 75 Hz (リフレッシュレートが 150 Hz の場合) だった。また、見える手がかり (CFF 未満のフリッカ) の場合、フリッカの周波数は 21.25 Hz (リフレッシュレートが 85 Hz の場合), 20 Hz (リフレッシュレートが 120 Hz の場合), 18.75 Hz (リフレッシュレートが 150 Hz の場合) だった。表 2 で実験 1a, 実験 1b のリフレッシュレート, 手がかりの提示時間, 手がかりが消えてから目標が提示されるまでの時間, 手がかりが提示されてから目標が提示されるまでの時間 (SOA) の関係を示す。

表 2 実験 1a, 実験 1b の各種提示時間のパラメータ

Monitor refresh rate (in Hz)	Cue duration (in ms)	Interval between cue offset and target onset (in ms)	SOA between cue onset and target onset (in ms)
Experiment 1 85	376	71	447
		271	647
		529	905
	400	50	450
		250	650
		500	900
	373	80	453
		280	653
		527	900

参加者は実験中ずっと注視点を注視し続けるように指示された。なお、参加者の課題は目標になるべく早く応答することだった。実験では目標が提示されてから参加者がボタンを押すまでの反応時間が記録された。解析では正答で、平均値から 3 SD 以内の反応時間のみ利用された。すると、実験 1a と実験 1b の両方とも全試行の 2.7 % 未満が解析から除かれた。

実験 1a では 66 人の参加者がランダムにリフレッシュレートの状態に基づき 3 つのグループの 1 つに割り当てられた。それぞれのグループで、手がかりの種類で 3 つの種類があった。見えない手がかり、見える手がかり、手がかりなしである。実験 1a の見えない手がかり、見える手がかりの条件では双方の正方形がフリッカした。なお、手がかりなしの条件では 2 つの正方形の中は静的な黄色が提示された。

参加者は 3 (手がかりの種類) \times 3 (SOA の種類) \times 2 (目標の種類) \times 20 (1 条件あたりの試行数) で合計 360 試行行った。ここで、図 9 に実験 1a の 1 試行の流れを示す。

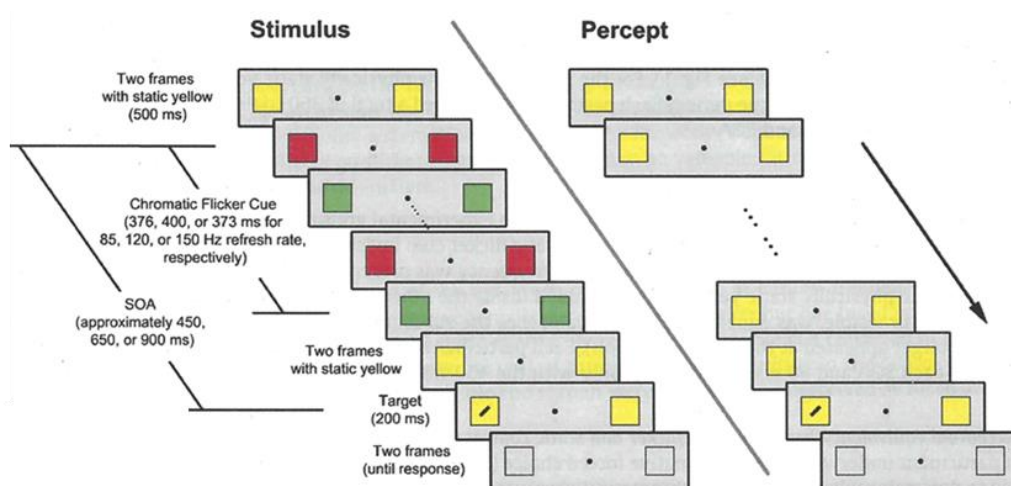


図 9 実験 1a の 1 試行の流れ

実験 1b では 60 人の参加者がランダムにリフレッシュレートの状態に基づき 3 つのグループの 1 つに割り当てられた。それぞれのグループで、手がかりの種類で 2 つの種類があった。見えない手がかり、見える手がかりである。実験 1b の見えない手がかり、見える手がかりの条件では片方の正方形がフリッカした。よって、手がかりと目標が同じ正方形に行われる一致条件と、手がかりと目標が異なる正方形に行われる不一致条件があった。参加者は 1 (見えない手がかり) \times 3 (SOA のタイプ) \times 2 (一致か不一致) \times 2 (目標のタイプ) \times 20 (1 条件あたりの試行数) + 1 (見える手がかり) \times 1 (SOA のタイプ: 450 mm) \times 2 (一致か不一致) \times 2 (目標のタイプ) \times 20 (1 条件あたりの試行数) で合計 320 試行行った。ここで、図 10 に実験 1b の 1 試行の流れを示す。

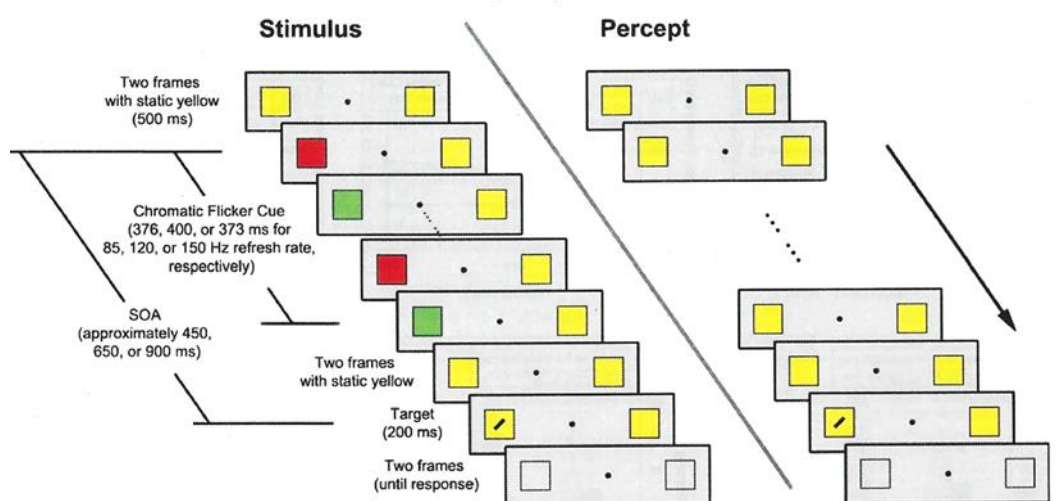


図 10 実験 1b の 1 試行の流れ

見えないフリッカと静的な黄色の刺激が色別できないことを確認するために、それぞれの参加者はそれぞれの周波数で色別課題を行った。具体的には目標が提示されない以外は実験 1b と同じ ($SOA = 450$ ms) 課題で、どちらの四角形が色やフリッカ、明るさが変わったのか参加者は答えた。それぞれの参加者は見えないフリッカを 60 試行、見えるフリッカを 60 試行 (ダミーの試行) を合計 120 試行行った。

色別課題では色別率と t 検定で 50 % と比較した場合の p 値で結果を評価した。実験 1a では 85 Hz の時 51.59 % [$t(21) = 1.55, p > 0.135$], 120 Hz の時 52.05 % [$t(21) = 1.61, p > 0.121$] , 150 Hz の時 51.67 % [$t(21) = 1.37, p > 0.186$] , 実験 1b では 85 Hz の時 52.08 % [$t(19) = 1.43, p > 0.167$] , 120 Hz の時 51.58 % [$t(21) = 1.37, p > 0.186$] , 150 Hz の時 50.83 % [$t(21) = 0.85, p > 0.404$] だった。この結果により参加者がフリッカの色別できないことを示した。

図 11 に実験 1a の結果を示す。A は各周波数で分けられていて、さらにフリッカの種類でマーカーを変えている。グラフの縦軸は反応時間の平均値を示し、横軸は各 SOA の大きさを示す。また、エラーバーは標準誤差を示す。B は各周波数で分けられていて、さらにフリッカの種類でマーカーを変えている。グラフの縦軸は見えない手がかりと手がかりなしの反応時間の差、見える手がかりのと手がかりなしの反応時間の差を示す。横軸は各 SOA の大きさを示す。エラーバーは標準誤差を示す。* は有意差がある事を示す。

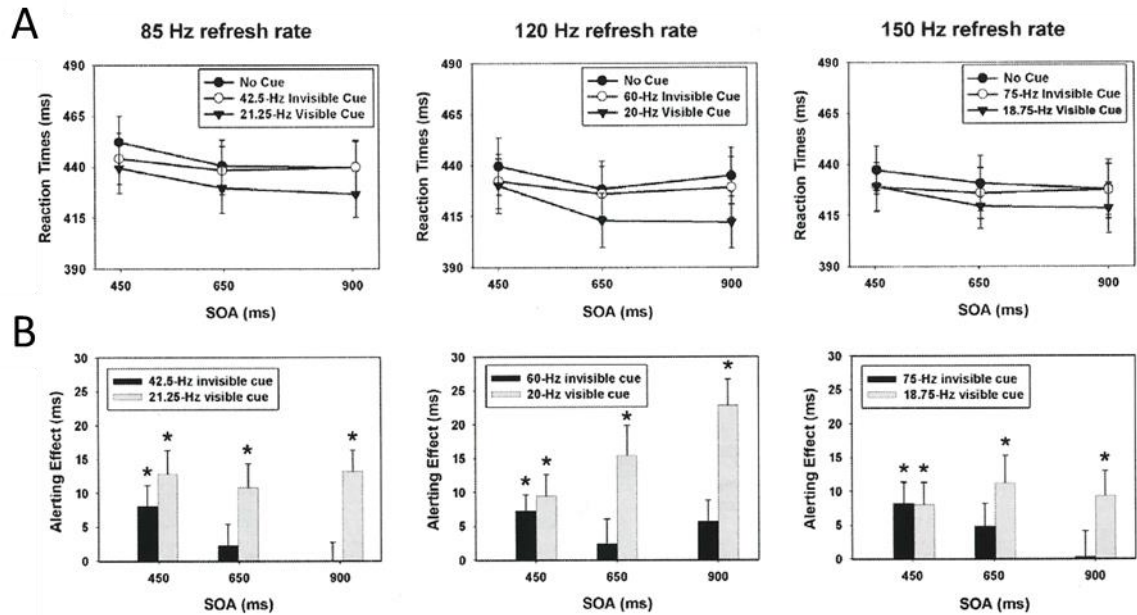


図 11 Lu らの実験 1a の結果

この結果から警戒状態の効果が示された。以下に具体的な解析結果を示す。手がかりがない時と比べ、見える手がかりがある場合は全ての SOA の場合で警戒状態の効果が示された (21.25 Hz の見える手がかりの全ての SOA で $t_s > 3.15, p_s < 0.006$, 20 Hz の見える手がかりの全ての SOA で $t_s > 3.06, p_s < 0.007$, 18.75 Hz の見える手がかりの全ての SOA で $t_s > 2.43, p_s < 0.25$)。また、フリッカの周波数 (42.5, 60, 75 Hz) と SOA (450, 650, 900 ms) と見えない手がかりの有無によって分散分析をすると SOA と見えない手がかりの有無によって有意な交互作用があったが [$F(2,126) = 3.15, p < 0.05$] , SOA と見えない手がかりの有無とフリッカの周波数で交互作用が無かった [$F(4, 126) = 0.56, p > 0.686$] 。全ての見えない手がかりの場合で 450 ms の SOA で警戒状態の効果が表れた (42.5 Hz の手がかりで $t(21) = 2.63, p < 0.017$, 60 Hz の手がかりで $t(21) = 3.08, p < 0.007$, 75 Hz の手がかりで $t(21) = 2.67, p < 0.015$) 。しかし、長い SOA では警戒状態の効果が表れなかった (42.5 Hz の手がかりで $t_s < 0.73, p_s > 0.47$, 60 Hz の手がかりで $t_s < 1.79, p_s > 0.09$, 75 Hz の手がかりで $t_s < 1.44, p_s > 0.16$) 。さらに、450 ms の SOA で見えない手がかりと手がかりなしの反応時間の差は、見える手がかりの時と比べ同じくらいだった (42.5 Hz の見えない手がかりと 21.25 Hz の見える手がかりで $t(21) = 1.26, p > 0.220$, 60 Hz の見えない手がかりと 20 Hz の見える手がかりで $t(21) = 0.68, p > 0.500$, 75 Hz の見えない手がかり

と 18.75 Hz の見える手がかりで $t(21) = 0.09, p > 0.928$) . これらの結果により, 見えない手がかりがある場合が無い場合より反応時間が短い, つまり警戒状態を促進させることを示した. また, 見えない手がかりの効果は周波数が変わっても変わらないことを示した.

さらに図 12 に実験 1b の結果を示す. A は各周波数で分けられていて, さらにフリッカの種類でマーカーを変えている. グラフの縦軸は反応時間の平均値を示し, 横軸は各 SOA の大きさを示す. また, エラーバーは標準誤差を示す. B は各周波数で分けられていて, さらにフリッカの種類でマーカーを変えている. グラフの縦軸は見えない手がかりと見える手がかりの場合で一致条件と不一致条件の反応時間の差を示す. 一致条件の反応時間が不一致条件の反応時間より短いと正の値を示す. 横軸は各 SOA の大きさ, エラーバーは標準誤差, * は有意差がある事を示す.

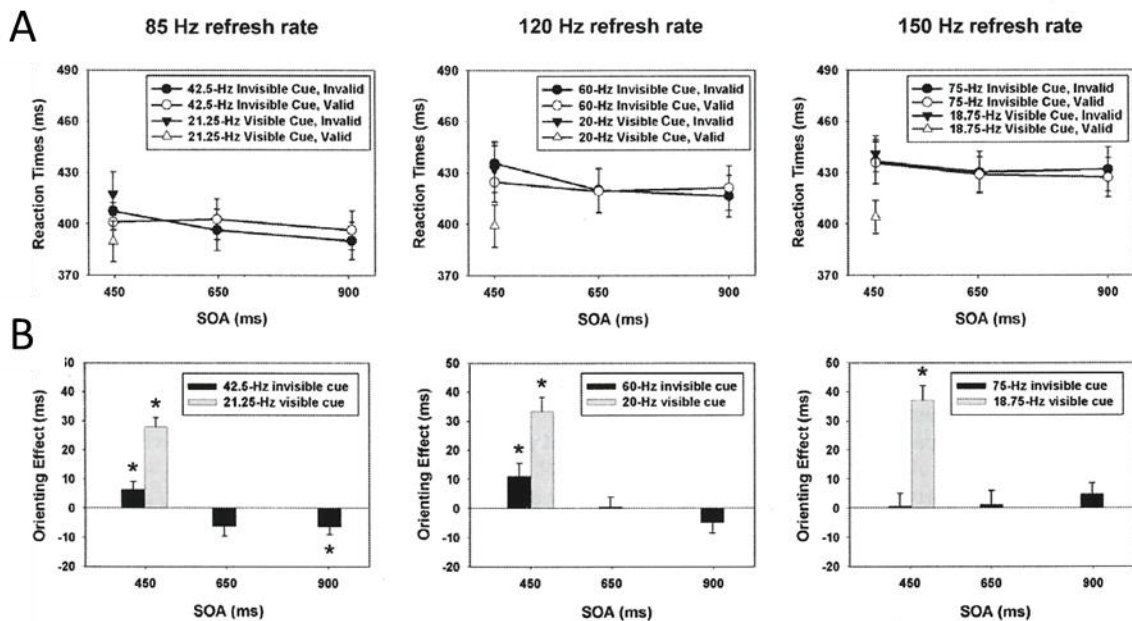


図 12 Lu らの実験 1b の結果

この結果から見える手がかりの場合は選択状態の効果が示され, 見えない手がかりの場合はフリッカの周波数と SOA で結果が異なった. 以下に具体的な解析結果を示す. 実験 1b の結果では見える手がかりの場合で促進の効果が示された.

(21.25Hz の見える手がかりで $t(19) = 8.65, p < 0.001$, 20Hz の見える手がかりで $t(19) = 6.86, p < 0.001$, 18.75 Hz の見える手がかりで $t(19) = 7.4, p < 0.001$. 見えない手が

かりの場合は、見えないフリッカの周波数によって結果が異なった。フリッカの周波数(42.5, 60, 75 Hz)と SOA(450, 650, 900 ms)と手がかりの種類 (一致か不一致) によって分散分析をすると SOA と手がかりの種類によって有意な交互作用があった [$F(2, 114) = 4.3, p < 0.020$] , SOA と手がかりの種類とフリッカの周波数で交互作用があった [$F(4, 114) = 2.11, p = 0.091$] . 42.5 Hz の見えない手がかりで SOA (450, 650, 900 ms) と手がかりの種類で有意な交互作用があった [$F(2, 38) = 7.35, p < 0.007$] . 450 ms の SOA の場合で見えない手がかりの有意な促進の効果が得られた $t(19) = 1.93, p < 0.034$. 650 ms の SOA の場合で少し見えない手がかりの抑制の効果が得られた $t(19) = 1.93, p = 0.069$, 900 ms の SOA の場合で有意な見えない手がかりの抑制の効果が得られた $t(19) = 2.44, p < 0.026$. 60 Hz の見えない手がかりで有意な SOA(450, 650, 900 ms)と手がかりの種類の交互作用があった [$F(2, 38) = 3.79, p < 0.043$] . 450 ms の SOA の場合で有意に見えない手がかりの促進の効果が得られた $t(19) = 2.49, p < 0.023$, 650 ms と 900 ms の SOA の場合では有意な見えない手がかりの抑制の効果が得られなかった $ps > 0.200$. 75 Hz の見えない手がかりで有意な交互作用がみられなかった [$F(2, 38) = 0.25, p > 0.722$] . 450 ms の SOA の場合で有意に見えない手がかりの促進の効果がみられなかった $t(19) = 0.19, p > 0.850$, 650 ms と 900 ms の SOA の場合では手がかりで有意な効果が得られなかった $ps > 0.233$. さらに、見えない手がかりで得られた促進の効果は見える手がかりよりも小さかった (42.5 Hz の見えない手がかりと 21.25 Hz の見える手がかりで $t(19) = 4.48, p < 0.001$, 60 Hz の見えない手がかりと 20 Hz の見える手がかりで $t(19) = 3.56, p < 0.003$). 結果をまとめると、見えない手がかりが選択状態を促進させたのは 85 Hz, 120 Hz のリフレッシュレートの 450 ms の SOA の場合だった。しかし、この時の見えない手がかりの選択状態の促進は、見える手がかりの場合より度合いは小さかった。この結果は次の理由だと考えられる。手がかりが無くなると促進の効果は制限されるのは過去の研究の結果にもあった [15] .

2.7 本研究の目的

2.2 節の実験 (Posner らの実験) によって選択注意という現象に加え、手がかりを提示すると反応時間が短くなることを示した。また、Bauer らの実験ではそれに加え、手がかりを参加者が見えないように提示しても反応時間が短くなることを示した。さらに、Lu らの実験では、目標が提示される可能性のある複数の対象に見えない手がかりを提示しても、提示しない場合より反応時間が短いことを示した。し

かし、これらの高速で知覚できないフリッカが反応時間を短くさせる現象が高速フリッカの提示される位置のみに有効か、高速フリッカの提示自体により引き起こされるのか明らかにされていない。

本研究の目的は、先行研究の結果について、刺激が提示される特定位置に高速フリッカを提示した効果によるものなのか、高速フリッカの提示は視野のどのような位置に提示されても効果が生じるのかを明らかにすることである。あわせて、本研究では、どのくらい高い周波数の高速フリッカにおいてそれらの効果が観察されるかを明らかにする。

第 3 章 実験

3.1 実験 1

3.1.1 実験 1 の目的

本実験では、高速プロジェクタを用いた実験環境において Bauer らの実験を追試することである。

3.1.2 参加者

参加者は 20 代から 30 代の男性 6 人である。なお、本研究の実験はすべて電気通信大学の倫理審査を経ている。

3.1.3 実験装置

本実験では、視覚刺激提示装置として DLP LightCommander (LOGIC PD 社) を利用した。このプロジェクタからの光をスクリーンに映し出すことで参加者に視覚刺激を提示した。



図 13 DLP プロジェクタ

参加者は頭を顎台を使って固定した。視距離は 200 cm だった。また、参加者の右手の手元には参加者が刺激への応答を入力するためのテンキーを設置した。

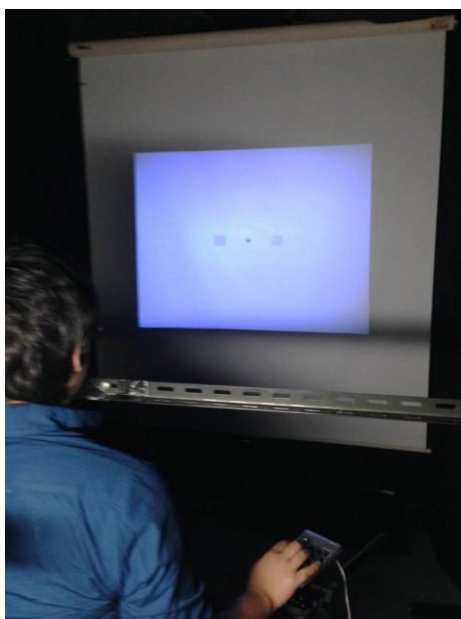


図 14 実験の様子

3.1.4 視覚刺激

実験に用いた視覚刺激を図 15, 16, 17 に示す. プロジェクタから投影される映像の大きさは縦 97 cm (視野角として 28 度), 横 125 cm (同 36 度) であった. 映像の中心には注視点を提示し, 2 つの正方形を注視点の左右等距離の位置に布置した. 注視点の大きさは 2.6 cm (同 0.7 度) で正方形の一边の長さは 5.2 cm (同 1.4 度) であった. 注視点の中心と正方形の中心までの距離は 15.5 cm (同 5.1 度) であった.

次に, 視覚刺激の輝度比について説明する. 本実験では一致条件と不一致条件と両側フリッカ条件とフリッカなし条件という 4 つの条件を設けた. 4 つの条件で背景の輝度比は実験中常に 0.4 の灰色だった (輝度比は 0 が黒で 0 超過 1 未満が灰色, 1 が白を示す). また, 2 つの正方形の中身の輝度比はフリッカする場合は $0 \leftrightarrow 1$ が交互に変更され, フリッカしない場合は常に 0.5 の灰色だった.

次に視覚刺激の手がかり刺激と目標刺激の違いについて説明する. 手がかり刺激では 2 つの正方形が提示され, 目標刺激では一方の正方形 (目標) が左右 1 pixel ずつ広がり, もう一方の正方形 (妨害刺激) が上下 1 pixel ずつ広がった. 目標刺激の長方形の長辺の長さは 5.4 cm (同 1.5 度) であった. 短辺の長さは 5.2 cm (同 1.4

度)であった。なお、初期画面は輝度比 0.5 の灰色で輝度比 0 の注視点だけがある画像である。

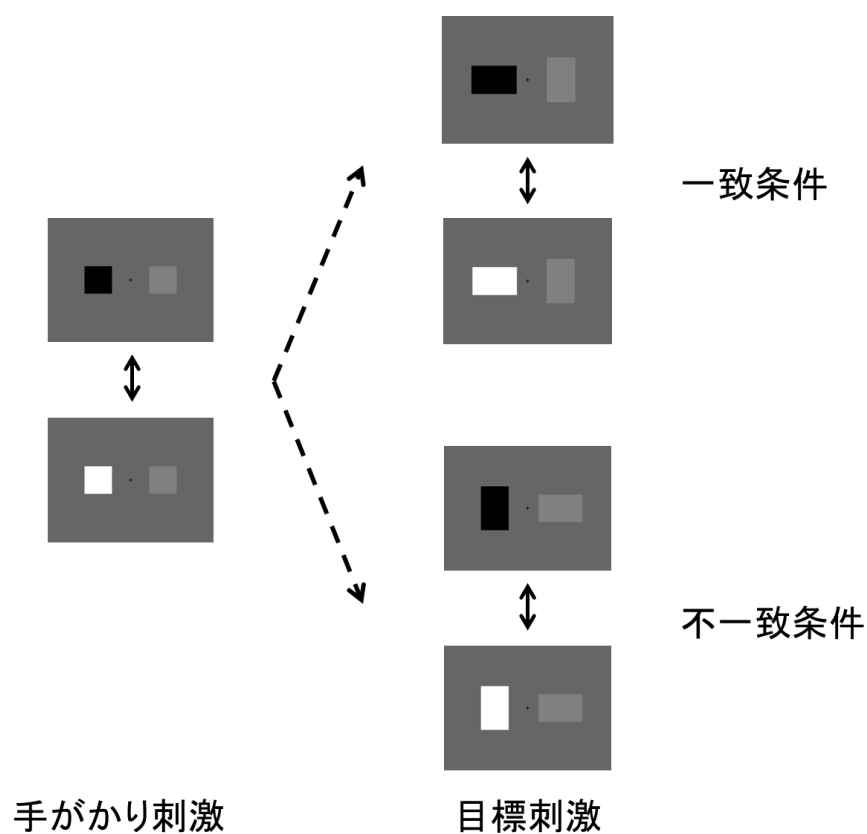


図 15 一致条件，不一致条件の刺激

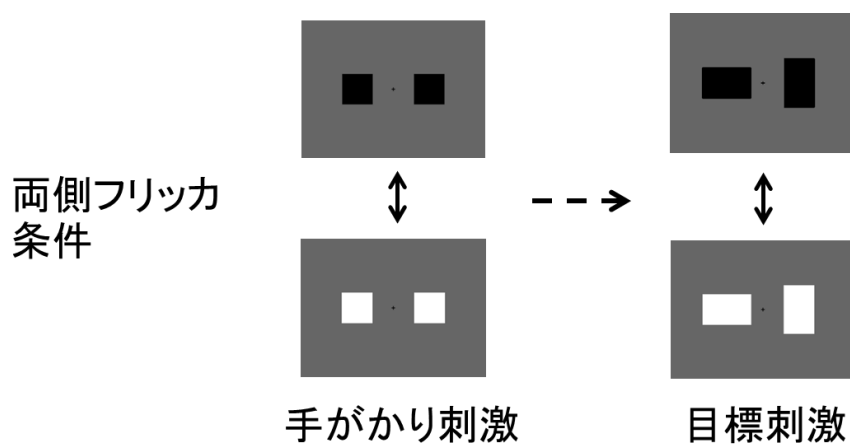


図 16 両側フリッカ条件の刺激



図 17 フリッカなし条件の刺激

3.1.5 一試行の流れ

図 18 に実験 1 の一試行の流れを示す．試行の最初の 1 秒間で初期画面が提示される．次の 1 秒間のあいだに手がかり刺激として，4 つの条件の刺激のうちどれかが提示された．試行開始後 2 秒以降で目標刺激を提示した．

参加者の課題は横長になった正方形の位置（目標）に対応するボタンをできるだけ早く正確に押すことであった．例えば，図 15 の一致条件や図 16 や図 17 の場合参加者はテンキーの 4 番をできるだけ早く正確に押すことを課せられた．また，図 15 の不一致条件の場合は参加者はテンキーの 5 番をできるだけ早く正確に押すことを課せられた．なお，参加者がボタンを押したらすぐに次の試行へ移るように設定された．

1 ブロックの試行回数は 80 回とした（条件 4 通り × 目標位置 2 通り × 10 試行）．

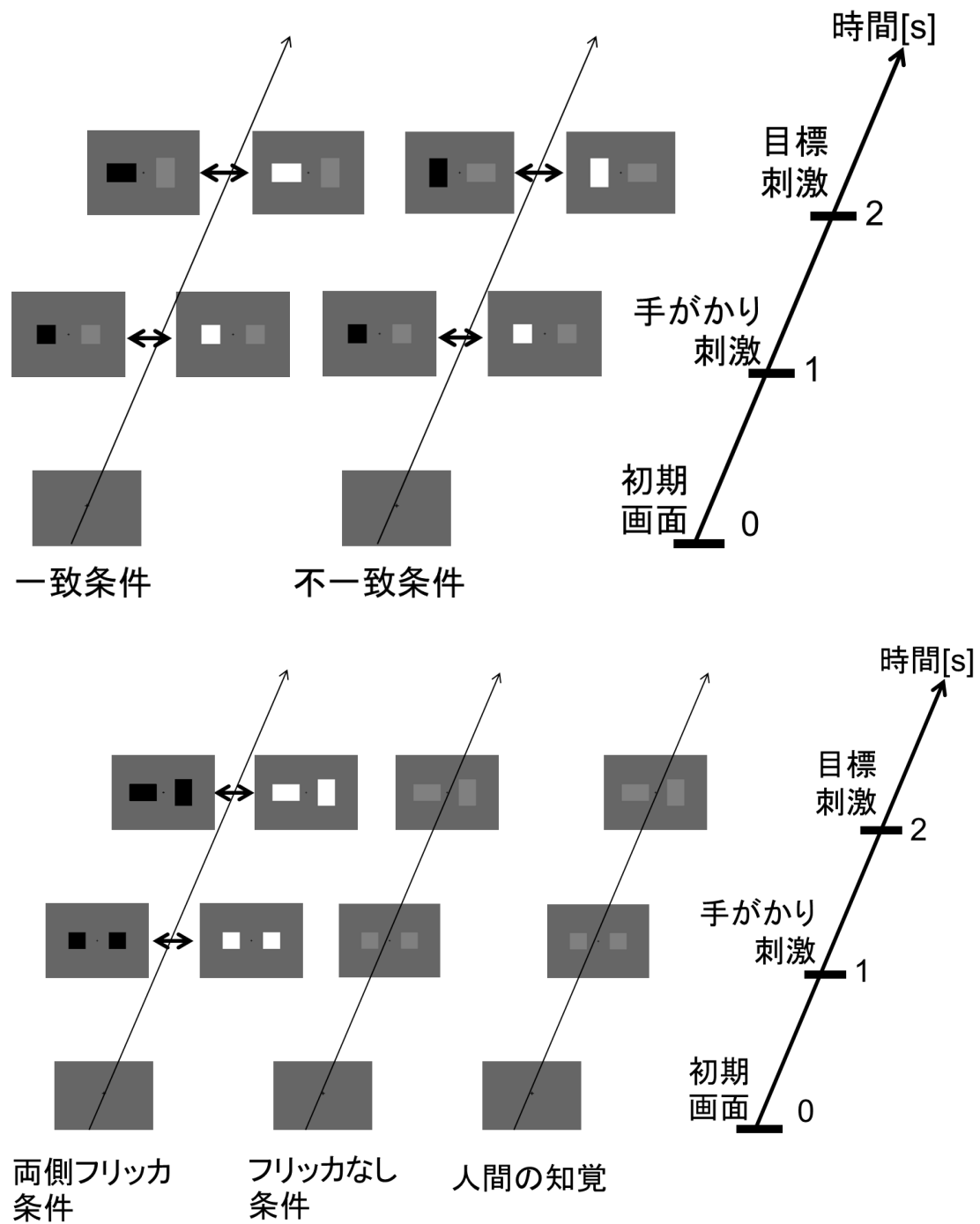


図 18 実験 1 の一試行の流れ

3.1.6 実験条件

実験 1 ではフリッカの種類とリフレッシュレートの 2 つの条件があった。フリッカの種類は一致条件, 不一致条件, 両側フリッカ条件, フリッカなし条件の 4 通り, リフレッシュレートは (リフレッシュレート [Hz], フリッカの周波数 [Hz]) の組

み合わせで (100, 50) (120,60) (140, 70) (160, 80) (180, 90) (200, 100)の 6 通りであった。

3.1.7 実験の手続き

提示する刺激条件や目標位置はランダムに決めた。

実験では前半 3 ブロック, 後半 3 ブロックでそれぞれ 3 つの周波数で実験を行なった。3 つの周波数の順序は前半, 後半共にランダムに決めた。前半と後半の間に 2 分間の休憩時間を挿入した。なお, 実験の前に適当な周波数を 3 ~ 5 ブロック練習してもらい, 参加者が課題に慣れるようにした。

解析には反応時間が 150 ms から 1000 ms の間で, 正答の試行のみ利用した。

3.1.8 実験結果

図 19 に実験条件ごとの正答率の参加者間平均値を示す。縦軸は正答の割合で全問正解で 1 の値を取る。横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である。エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の正答の割合の標準偏差である。どの周波数でも正答の割合は 0.94 前後でおよそ正答率に差が無い事が言える。しかし, リフレッシュレート 120 Hz, フリッカの周波数 60 Hz の時不一致条件の正答率が比較的低かった。なお, 表 3 は特定の条件間で正答率に差があるのか調べるために t 検定を行った結果である。これによると有意な周波数と条件の組み合わせは無く, どの周波数でどの条件でも正答率に違いが少ないのが分かった。しかし, リフレッシュレート 120 Hz, フリッカの周波数 60 Hz の時一致条件と不一致条件の正答率の差が有意ではないが大きかった ($p = 0.11$) 。

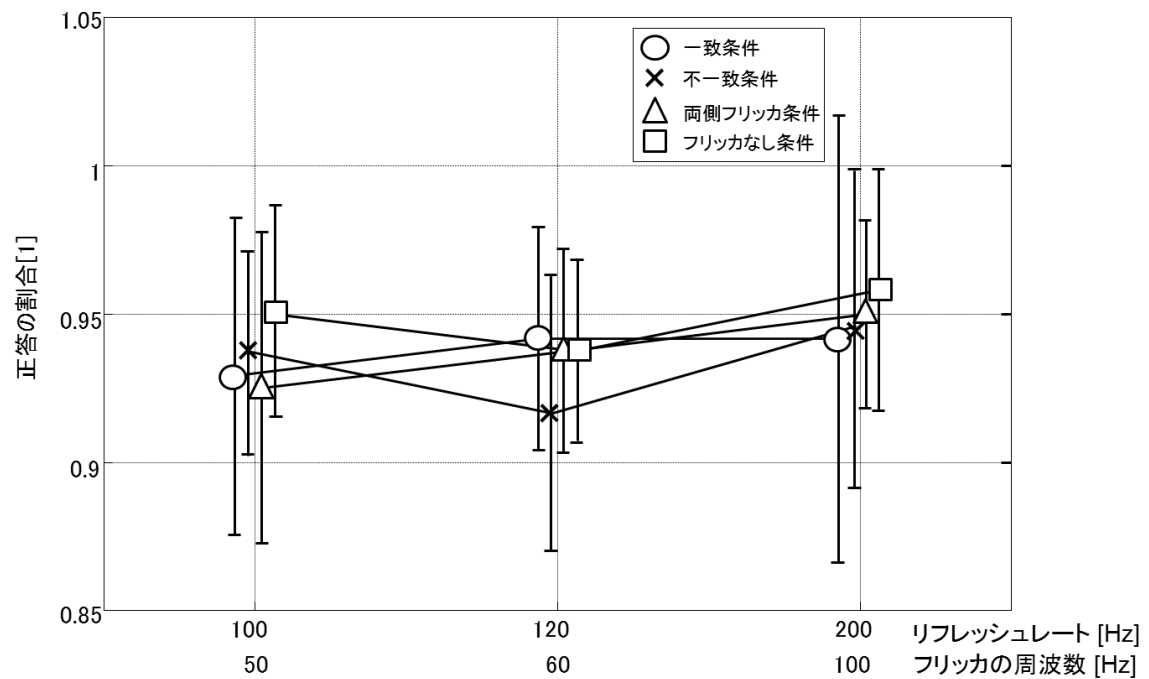


図 19 刺激条件間の正答率の違い

表 3 周波数 [Hz] と特定の条件間で t 検定した場合の p 値

リフレッシュレート[Hz]	100	120	200
フリッカの周波数[Hz]	50	60	100
validとControl_NF	0.40	0.85	0.64
invalidとControl_NF	0.30	0.46	0.67
Control_FFとControl_NF	0.38	1.00	0.66
validとinvalid	0.76	0.11	0.88

図 20 に反応時間の参加者間平均値を示す．図 20 の縦軸は反応時間の平均値，横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である．エラーバーは参加者間の標準誤差である．なお，表 4 は特定の条件間で反応時間の平均値に差があるのか調べるために t 検定（有意水準: 5 %）を行った結果である．太字は有意だった場合の条件と周波数の組み合わせである．リフレッシュレートが 100 Hz と 120 Hz で一致条件とフリッカなし条件の組み合わせの時有意差があった．

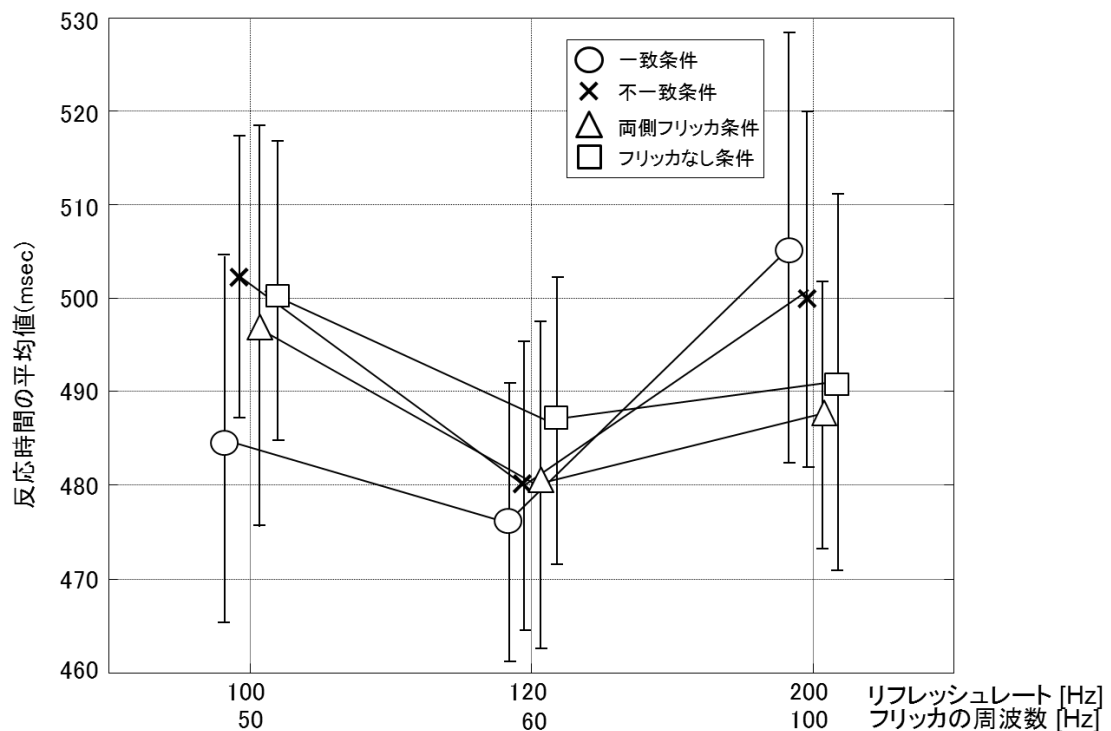


図 20 反応時間の参加者間平均

表 4 周波数 [Hz] と特定の条件間で t 検定した場合の p 値

リフレッシュレート[Hz]	100	120	200
フリッカの周波数[Hz]	50	60	100
一致条件フリッカなし条件	0.04	0.003	0.06
不一致条件とフリッカなし条件	0.84	0.30	0.29
両側フリッカ条件とフリッカなし条件	0.65	0.46	0.75
一致条件と不一致条件	0.07	0.45	0.51

本実験では、参加者ごとの反応時間が必ずしも正規分布に従っていなかったため、平均反応時間に加えて反応時間の中央値についても同様の分析を行なった。

図 21 は各参加者の反応時間中央値の参加者間平均値および標準誤差を示したものである。なお、表 5 は特定の条件間で反応時間の中央値に差があるのか調べるために t 検定 (有意水準: 5%) を行った結果である。どの周波数でどの条件でも有意差が無かった。しかし、リフレッシュレートが 120 Hz、フリッカの周波数が 60 Hz の時一致条件とフリッカなし条件の差が有意ではないが大きかった ($p = 0.07$)。

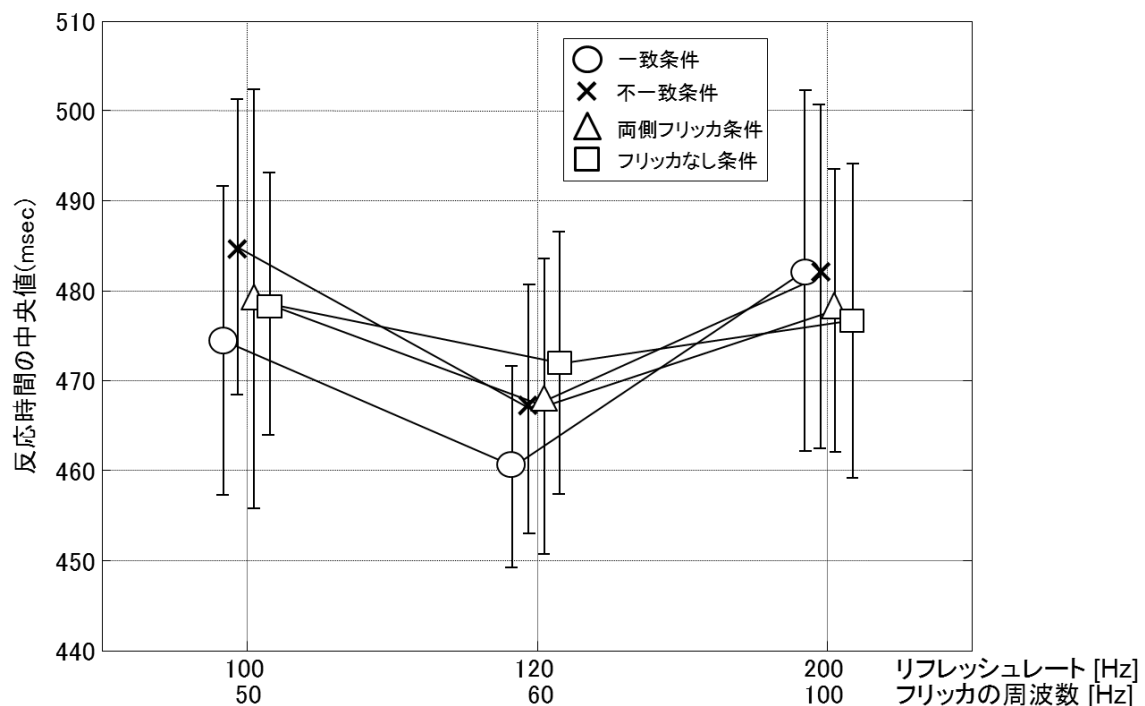


図 21 参加者ごとの反応時間中央値の参加者間平均

表 5 周波数 [Hz] と特定の条件間で t 検定した場合の p 値

リフレッシュレート[Hz]	100	120	200
フリッカの周波数[Hz]	50	60	100
validとControl_NF	0.69	0.07	0.53
invalidとControl_NF	0.16	0.53	0.69
Control_FFとControl_NF	0.96	0.59	0.94
validとinvalid	0.32	0.36	0.95

3.1.9 考察

平均値で一致条件とフリッカなし条件の反応時間で t 検定をかけると、リフレッシュレートが 100 Hz と 120 Hz で有意となった。これより、目標の場所のフリッカの手がかりが反応を促進しているといえる。また 120 Hz の不一致条件の正答率が有意ではないが一致条件より低いことを加えると、フリッカの手がかりが注意の方向付けをしているとも考えられる。しかし、リフレッシュレートが 100 Hz と 120 Hz の時フリッカの周波数が 50 Hz と 60 Hz になる。これは、CFF [10] 以下の周波数になり参加者がフリッカの手がかりの有無を弁別できていなかったか不明であった。この点を実験 1 の留意点として加えて置く。

さらに平均値でリフレッシュレートが 100 Hz, フリッカの周波数が 50 Hz の時一致条件と不一致条件の正答率の差が有意ではないが大きかった ($p = 0.07$)。これより, Bauer らの実験結果と同様な傾向が出ていると考えられる。

3.2 実験 2

3.2.1 実験 2 の目的

前節の実験で高速プロジェクタを使って視覚刺激の対象をガボールパッチから四角形に変更しても Bauer らの実験結果と同じ傾向が現れることが確認できた。そこで注視点と 2 つの正方形が同じ大きさで同じ位置にある視覚刺激を用いて, 今度は本研究の中心的課題である実験を行った。

実験 2 の目的は背景領域の高速フリッカが選択反応課題で成績に影響を及ぼすかどうかを調べることである。具体的には, 背景を手がかりとしてフリッカしない場合 (フリッカなし条件) とフリッカする場合 (フリッカあり条件) で反応時間に差があるかないかを調べる。

3.2.2 参加者

参加者は 20 代から 50 代の男性 15 人, 女性 1 人である。なお, 本研究の実験はすべて電気通信大学の倫理審査を経ている。

3.2.3 実験装置

実験装置は実験 1 と同じである。

3.2.4 視覚刺激

実験に用いた視覚刺激を図 22 に示す。視覚刺激の大きさは縦 97 cm (視野角として 28 度), 横 125 cm (同 36 度) であった。視覚刺激の中心には注視点があり, 2 つの正方形が注視点の左右等距離にあった。注視点の大きさは 2.6 cm (同 0.7 度) で正方形の辺の長さは 5.2 cm (同 1.4 度) であった。注視点の中心と正方形の中心までの距離は 15.5 cm (同 5.1 度) であった。

次に, 視覚刺激の輝度比について説明する。本実験ではフリッカなし条件とフリッカあり条件という 2 つの条件があった。2 つの条件のうち, フリッカなし条件では背景の輝度比が 0.5 の無彩色で 2 つの正方形は 0.4 の輝度比の灰色であった。フ

フリッカなし条件は背景は輝度比を 0↔1 でフリッカさせるようにした．2つの正方形はフリッカなし条件 と同じく 0.4 の輝度比の灰色であった．

次に視覚刺激の手がかり刺激と目標刺激の違いについて説明する．二つの条件共に，手がかり刺激では2つの正方形が提示され，目標刺激では目標である一方の正方形が左右 1 pixel ずつ広がり，もう一方の正方形（妨害刺激）が上下 1 pixel ずつ広がった．目標刺激の長方形の長辺の長さは 5.4 cm (同 1.5 度) であった．短辺の長さは 5.2 cm (同 1.4 度) であった．

なお，初期画面は輝度比 0.5 の無彩色で輝度比 0 の注視点だけがある画像である．










	手がかり刺激	目標刺激 (左側が目標)	目標刺激 (右側が目標)
フリッカなし 条件			
フリッカあり 条件	 ↓ 交互に提示 	 ↓ 交互に提示 	 ↓ 交互に提示 

図 22 実験 2 の視覚刺激

3.2.5 一試行の流れ

図 23 に実験 2 の一試行の流れを示す．試行の最初の 1 秒間で初期画面が提示され，次の一秒間に手がかり刺激が提示された．試行開始 2 秒以降で，目標刺激を提示した．

参加者の課題は横長になった正方形（目標）に対応するボタンをできるだけ早く正確に押すことであった．左側の正方形が目標の場合参加者はテンキーの 4 番を

できるだけ早く正確に押すことを課せられた。また、右側の正方形が目標の場合参加者はテンキーの5番をできるだけ早く正確に押すことを課せられた。なお、参加者がボタンを押したらすぐに次の試行へ移るように設定された。

1ブロックの試行回数は40回とした(条件2通り×目標位置2通り×10試行)。

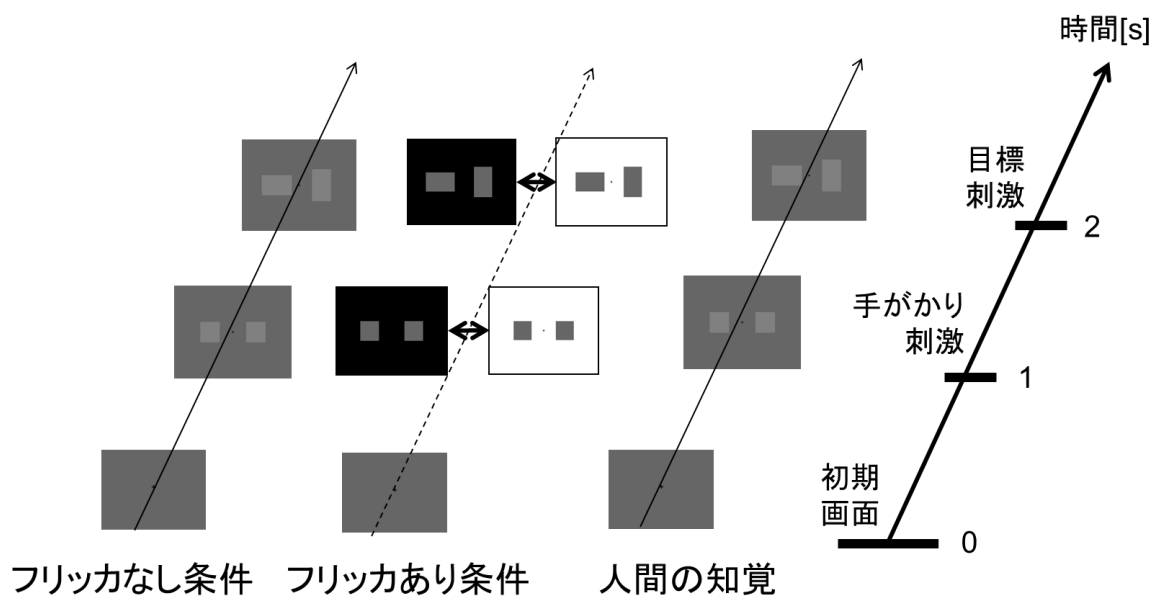


図 23 実験2の一試行の流れ

3.2.6 実験条件

実験2では背景フリッカの有無とリフレッシュレートの2つの条件があった。背景フリッカの有無はフリッカなし条件、フリッカあり条件の2通り、リフレッシュレートは(リフレッシュレート [Hz], フリッカの周波数 [Hz])の組み合わせで(100, 50) (120, 60) (140, 70) (160, 80) (180, 90) (200, 100)の6通りであった。

3.2.7 実験の手続き

提示する刺激条件や目標位置ランダムに決めた。

実験では前半4ブロック、後半4ブロックでそれぞれ4つの周波数で実験を行った。4つの周波数の順序は前半、後半共にランダムに決めた。前半と後半の間に2分間の休憩時間を挿入した。なお、実験の前にリフレッシュレート120 Hzの条件で3または5ブロック練習してもらい、参加者が課題に慣れるようにした。

解析には反応時間が150 msから1000 msの間で、正答の試行のみ利用した。

3.2.8 実験結果

図 24 に実験条件ごとの正答率の参加者間平均値を示す．縦軸は正答の割合で全問正解で 1 の値を取る．横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である．エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の正答の割合の標準偏差である．140 Hz 以外は周波数でも正答の割合は 0.9 前後でおよそ正答率に差がないと言える．

t 検定をかけると（有意水準: 5 %），100 Hz で $p = 0.2997$, 120 Hz で $p = 0.4271$, 140 Hz で $p = 0.0028$, 160 Hz で $p = 0.9157$, 180 Hz で $p = 0.1639$, 200 Hz で $p = 0.1701$ となった．140 Hz で有意差があった．

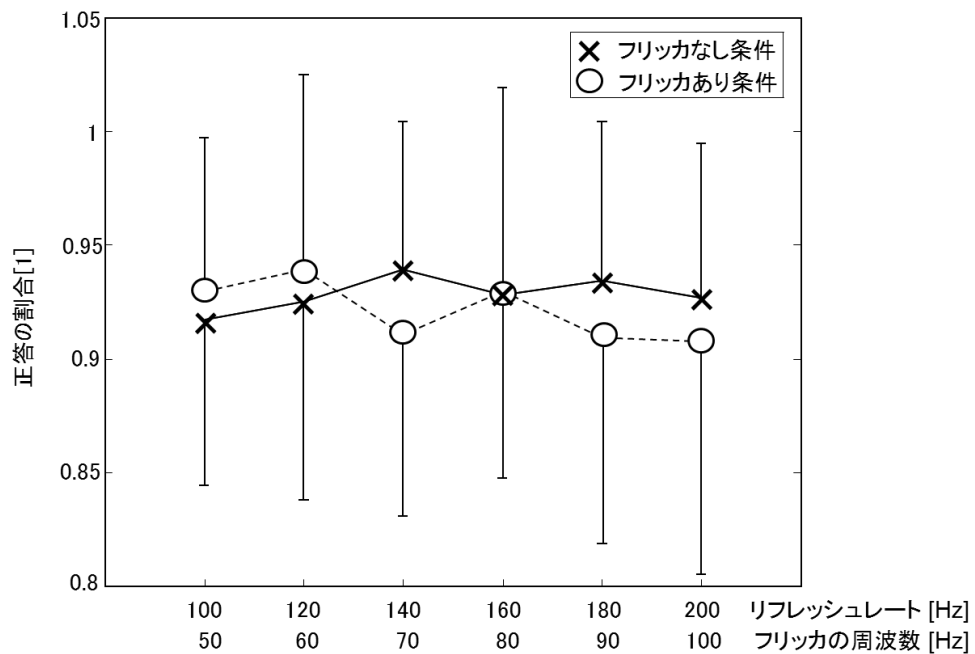


図 24 刺激条件間の正答率の違い

図 25 に反応時間の参加者間平均値を示す．上図の縦軸は反応時間の平均値，横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である．エラーバーは参加者間の標準誤差である．下図は，二つの実験条件間の平均反応時間の差とその参加者間標準誤差を示したものである． t 検定をかけると（有意水準: 5 %），100 Hz で $p = 0.4488$, 120 Hz で $p = 0.0964$, 140 Hz で $p = 0.4096$, 160 Hz で $p = 0.1014$, 180 Hz で $p = 0.1651$, 200 Hz で $p = 0.0342$ となった．200 Hz で有意差があった．

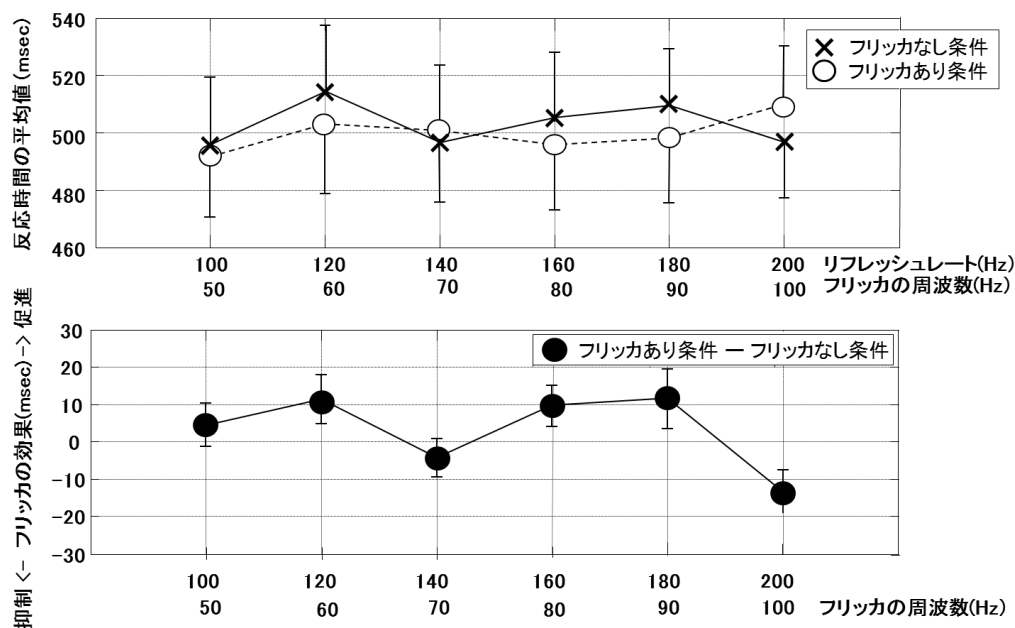


図 25 反応時間の参加者間平均

本実験では、試行ごとの反応時間が必ずしも正規分布に従っていなかったため、平均反応時間に加えて反応時間の中央値についても同様の分析を行なった。

図 26 上図は各参加者の反応時間中央値の参加者間平均値および標準誤差を示したものである。下図は二つの実験条件間での中央値の差の参加者間平均値と標準誤差をまとめたものである。二条件間の差についてフリッカ周波数ごとに t 検定を行なったところ (有意水準: 5%) , 100 Hz で $p = 0.8306$, 120 Hz で $p = 0.9968$, 140 Hz で $p = 0.6717$, 160 Hz で $p = 0.0123$, 180 Hz で $p = 0.3696$, 200 Hz で $p = 0.4575$ となった。160 Hz で有意差があった。

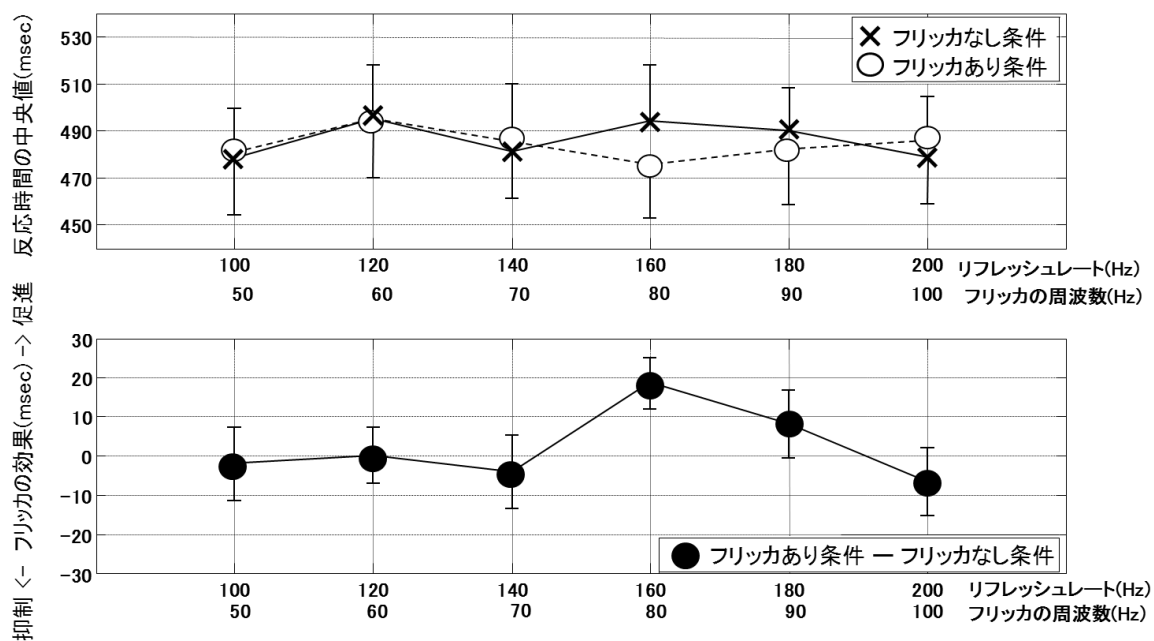


図 26 参加者ごとの反応時間中央値の参加者間平均

図 27 から図 32 に参加者の内一人の反応時間のヒストグラムを示す. 縦軸は頻度, 横軸は反応時間である. ビン幅は 10 ms である.

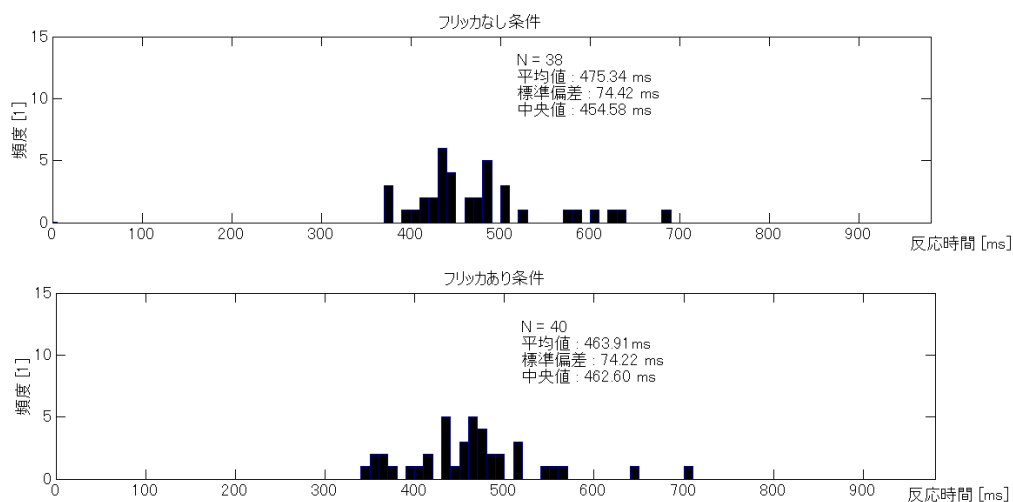


図 27 リフレッシュレート 100 Hz の条件での反応時間の分布

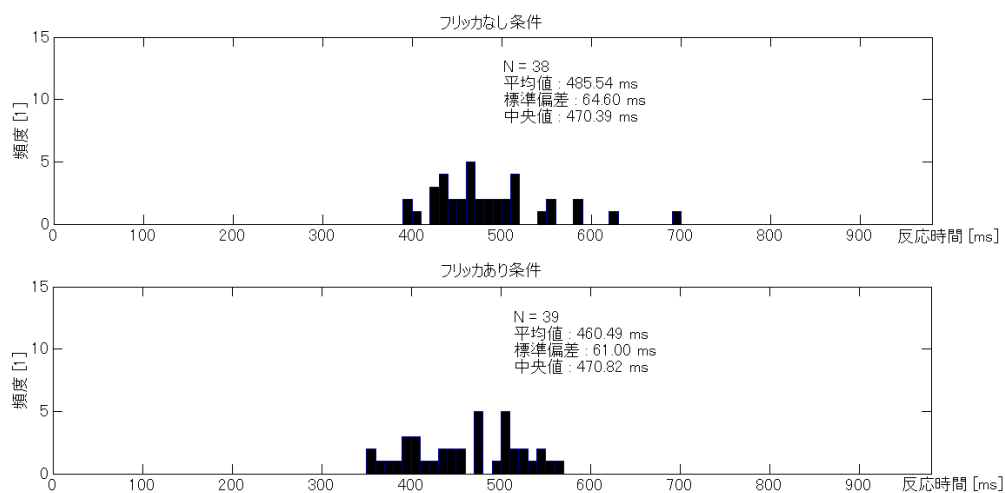


図 28 リフレッシュレート 120 Hz の条件での反応時間の分布

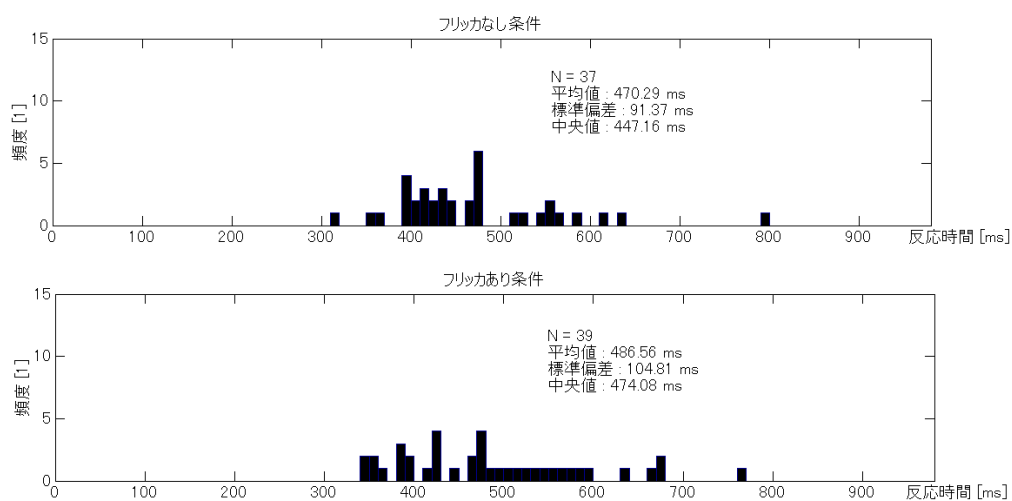


図 29 リフレッシュレート 140 Hz の条件での反応時間の分布

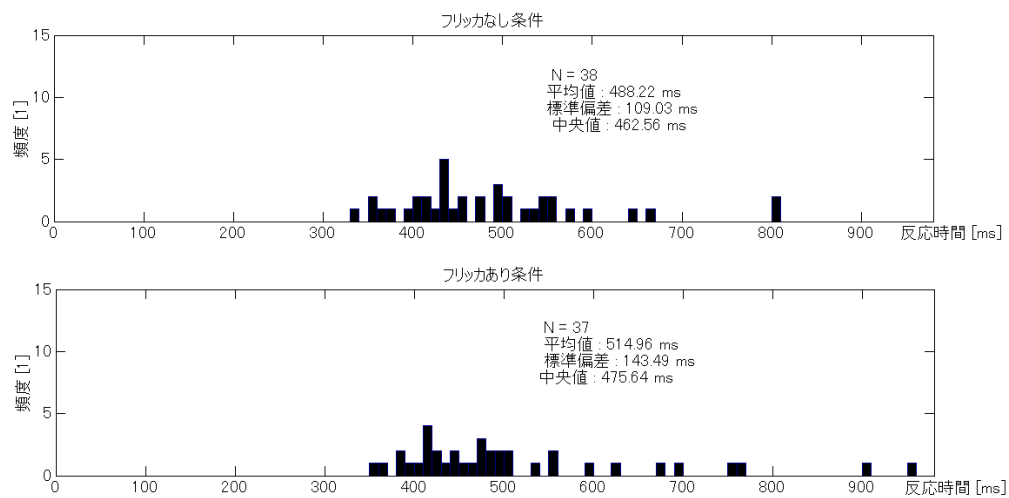


図 30 リフレッシュレート 160 Hz の条件での反応時間の分布

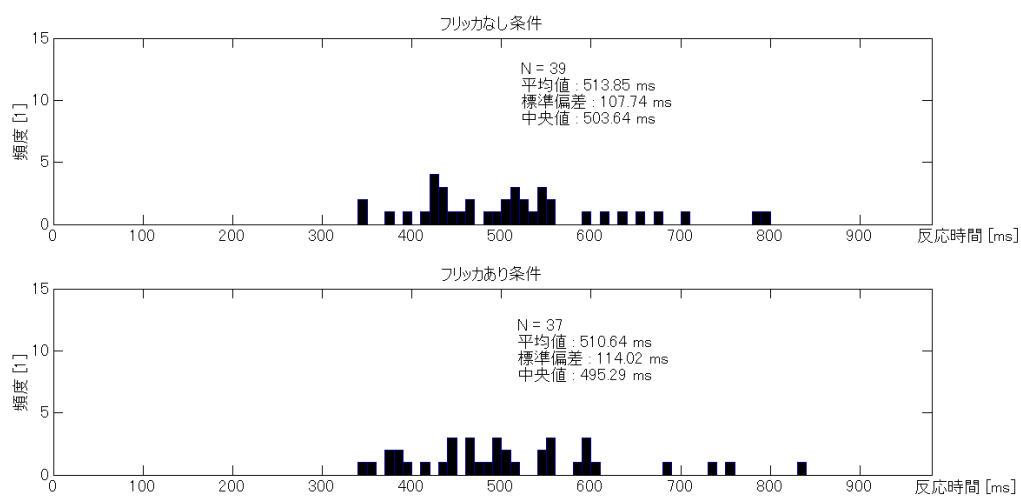


図 31 リフレッシュレート 180 Hz の条件での反応時間の分布

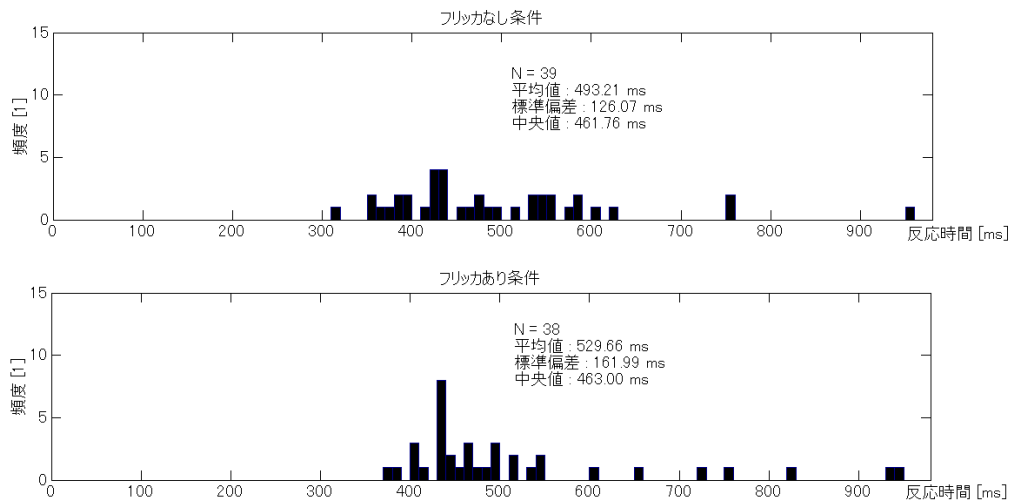


図 32 リフレッシュレート 200 Hz の条件での反応時間の分布

3.2.9 考察

各条件で、各参加者の反応時間の中央値の参加者間平均値で t 検定をかけると、160 Hz で $p = 0.0123$ となったことから、160 Hz では目標の場所でフリッカしなくても、反応が促進されることが示唆される。

また、この実験では実験中、1 ブロックに 1 回あるかないかの頻度で手がかり刺激が目標刺激に切り替わる瞬間にフラッシュ状の刺激が観察される場合があることがわかった。この現象は、DLP プロジェクタはグレースケールの画像 (8bit 画像) を提示する時、実際は約 8 倍以上の周波数の白黒画像 (1bit 画像) で切り替えながら時分割制御で提示していることに起因するのではないかと思われたが、原因を特定することができなかった。この問題を解決するために、グレースケール表示を使わずにあらためて実験を行なうことにした。

3.3 実験 3

3.3.1 実験環境の変更

前章の問題の解決のため、背景をグレースケールの画像 (8bit 画像) から白黒画像 (1bit 画像) に変更した。

この条件では、背景が灰色の視覚刺激では目立たなかったプロジェクタから出た視覚刺激の周りに光の漏れが目立つようになった。そこで、視覚刺激の周りについてたてを設けることで視覚刺激の周りの光の漏れを消すことにした。ついたての骨組みはアングル材できていて暗幕で必要な部分を覆っている。図 33 がついたてを設

けた時の実験の様子である．これにより，画像の大きさは縦 66 cm (視野角として 19 度)，横 86 cm (同 24 度) と小さくなった．

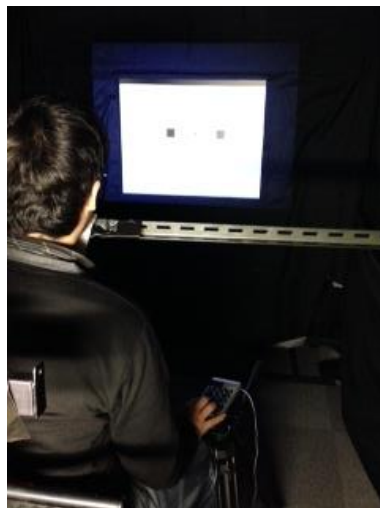


図 33 実験の様子

3.3.2 参加者

参加者は 20 代から 50 代の男性 14 人，女性 1 人である．なお，本研究の実験はすべて電気通信大学の倫理審査を経ている．

3.3.3 視覚刺激

白黒画像 (1bit 画像) の実験に用いられた視覚刺激を図 34 示す．注視点と，2 つの正方形の位置と大きさは実験 1 と同じである．

まず，視覚刺激の輝度について説明する．本実験でもフリッカなし条件とフリッカあり条件という 2 つの条件があった．フリッカなし条件は背景のフリッカが無い場合でフリッカあり条件は背景のフリッカがある場合である．2 つの条件共に視覚刺激の正方形の輝度比は 0 とした．また，フリッカなし条件では 1 枚のランダムドットの視覚刺激を用いた．フリッカあり条件ではフリッカなし条件の視覚刺激と黒の画像を交互に提示するものだった．なお，2 つの条件で主観的な見えを同じにするために実験の周波数に応じてフリッカあり条件では LED の強度 [%] を変更した．表 6 に実験で使用した周波数と LED の強度 [%] の関係を示す．なお，フリッカなし条件ではどのフリッカの周波数の場合でも LED の強度 [%] は 100 % であった．

手がかり刺激で 1 秒間刺激を提示した後、目標刺激として二つの正方形の片方を横長，もう片方を縦長に変化させた．具体的には横長というのは正方形が左右 1 pixel ずつ広がり，縦長というのは正方形が上下 1 pixel ずつ広がった．横長になった正方形を目標，縦長に変化した正方形をディストラクタ (妨害刺激) とした．

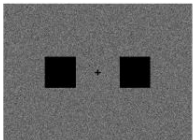
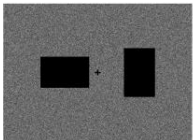
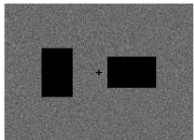

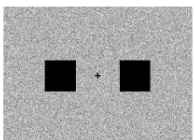

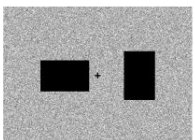

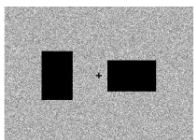
	手がかり刺激	目標刺激 (左側が目標)	目標刺激 (右側が目標)
フリッカなし 条件			
フリッカあり 条件	 ↓交互に提示 	 ↓交互に提示 	 ↓交互に提示 

図 34 実験 3 の視覚刺激

表 6 実験で使った周波数とフリッカなし条件の LED の強度 [%] の関係

リフレッシュ レート [Hz]	フリッカの 周波数 [Hz]	赤色 LED の 強度 [%]	緑色 LED の 強度 [%]	青色 LED の 強度 [%]
120	60	50.7	44	48.7
160	80	50.6	44	48.4
200	100	50.5	43.5	47.7
240	120	50.6	43.5	47.1

3.3.4 一試行の流れ

図 35 に一試行の流れを示す．試行の最初の 1 秒間で初期画面として，黒のフリッカが提示される．これは，黒一色の画像で，その時のフリッカの周波数に対応するフリッカあり条件の LED の強度 [%] とフリッカなし条件の LED の強度 100 %

を交互に切り替え、提示している。次の1秒間で手がかり刺激を提示した。さらに次の1秒間で目標刺激を提示した。

参加者の課題は横長になった正方形の位置に対応するボタンをできるだけ早く正確に押すことであった。左側の正方形が目標の場合参加者はテンキーの4番をできるだけ早く正確に押すことを課せられた。また、右側の正方形が目標の場合参加者はテンキーの5番をできるだけ早く正確に押すことを課せられた。

なお、試行の3秒以降は参加者が目標刺激提示後1秒以内にボタンを押した場合、1秒間黒のフリッカを提示し、次の試行へ移る。その期間でボタンを押さなかった場合、黒のフリッカを提示し続け、参加者がボタンを押した後、さらに1秒間黒のフリッカを提示し、次の試行へ移る。

1ブロックの試行回数は40回とした（条件2通り×目標位置2通り×10試行）。

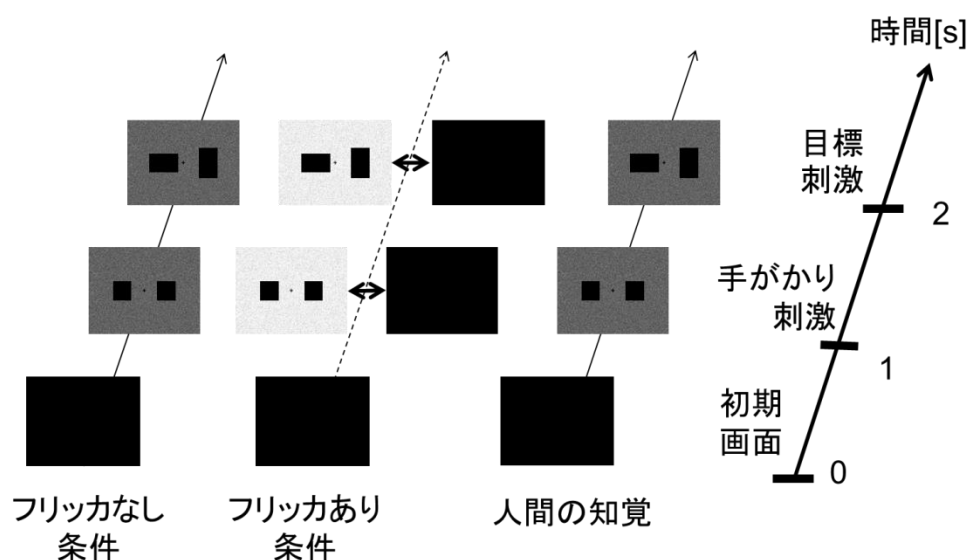


図 35 実験3の一試行の流れ

3.3.5 実験条件

実験3では背景フリッカの有無とリフレッシュレートの2つの条件があった。背景フリッカの有無はフリッカなし条件、フリッカあり条件の2通り、リフレッシュレートは（リフレッシュレート [Hz], フリッカの周波数 [Hz]）の組み合わせで（120, 60）（160, 80）（200, 100）（240, 120）の4通りであった。

3.3.6 実験の手続き

提示する刺激条件や目標位置の順序をランダムに決めた。

実験では前半 4 ブロック、後半 4 ブロックでそれぞれ 4 つの周波数で実験を行なった。4 つの周波数の順序は前半、後半共にランダムに決めた。前半と後半の間に 2 分間の休憩時間を挿入した。なお、実験の前に 160 Hz を 3 または 5 ブロック練習してもらい、参加者が課題に慣れるようにした。

解析には反応時間が 150 ms から 1000 ms の間で、正答の試行のみ利用した。

3.3.7 弁別課題の目的

本実験ではフリッカなし条件とフリッカあり条件 という 2 つの条件があった。表 6 の LED の強度は、実験者が目視で 2 つの条件を見比べながら設定した値である。よって、参加者によっては 2 つの条件で見分けがついてしまい、実験の前提が崩れてしまう可能性がある。そこで 2 つの条件で主観的な見えに違いがあるかないかを確認するために、弁別課題を行った。

3.3.8 視覚刺激

フリッカなし条件とフリッカあり条件の手がかり刺激を用いた。実験 3 と同じようにフリッカあり条件の視覚刺激提示時は LED の強度を 100 % にし、フリッカなし条件の視覚刺激提示時は表 6 のようにその時のリフレッシュレートに応じて LED の強度を変化させた。

3.3.9 一試行の流れ

図 36 に弁別課題の一試行の流れを示した。試行の 1 回目でフリッカなし条件かフリッカあり条件どちらかの視覚刺激が提示される。試行の 2 回目で、試行の 1 回目で提示された刺激と別の条件の視覚刺激が提示される。試行の 3 回目でフリッカなし条件かフリッカあり条件どちらかの視覚刺激が提示される。参加者は試行の 3 回目に提示されたものが試行の 1 回目か 2 回目のどちらなのか返答した。具体的にテンキーの 1 番を押したら試行の 1 回目が試行の 3 回目と同じ、テンキーの 2 番を押したら試行の 2 回目が試行の 3 回目と同じとするようにした。

なお、試行の 1 回目と 2 回目の間、2 回目と 3 回目の間、3 回目の提示後は黒のフリッカが提示される。これは、黒の画像で、その時のリフレッシュレートに対応

また、1回目と2回目、3回目、黒のフリッカの提示時間は1秒間だった。さらに、3回目の提示後は参加者が1秒以内にボタンを押した場合、2秒間黒のフリッカを提示し、次の試行へ移る。その期間でボタンを押さなかった場合、黒のフリッカを提示し続け、参加者がボタンを押した後、さらに2秒間黒のフリッカを提示し、次の試行へ移る。

The diagram illustrates a quantum circuit with a legend and a time axis. The legend, located on the left, defines four types of arrows: a solid arrow for 'フリッカなし条件' (No flicker condition), a dashed arrow for 'フリッカあり条件' (Flicker condition), a dotted arrow for '黒の点滅' (Black flicker), and a dash-dot arrow for 'ランダムで分岐' (Random branching). The circuit starts at a black square labeled 'start' at time 0. It branches into two paths: one with solid arrows and one with dashed arrows. These paths converge at time 4 and then branch again into two paths with dotted arrows. These dotted paths converge at time 5 and then branch into two paths with dash-dot arrows. Finally, these paths converge at time 7. A vertical axis on the right, labeled '時間[s]' (Time [s]), marks the time steps from 0 to 7.

3.3.10 実験の手続き

実験は4つの周波数を1ブロックずつ行われた。4つの周波数の順序はランダムに決めた。なお、実験の前に160 Hzを計20回練習してもらい、課題に慣れるようにした。

図 37 は実験 3 の弁別実験の結果を示したものである。この図の縦軸は正答率の参加者間平均値を示していて横軸はその時のリフレッシュレートである。エラー

バーは参加者間の標準偏差を示している．この図からわかるように，すべてのリフレッシュレートで正答率がほぼ 50 %であり，2 つの条件の弁別はできないことが確認できた．

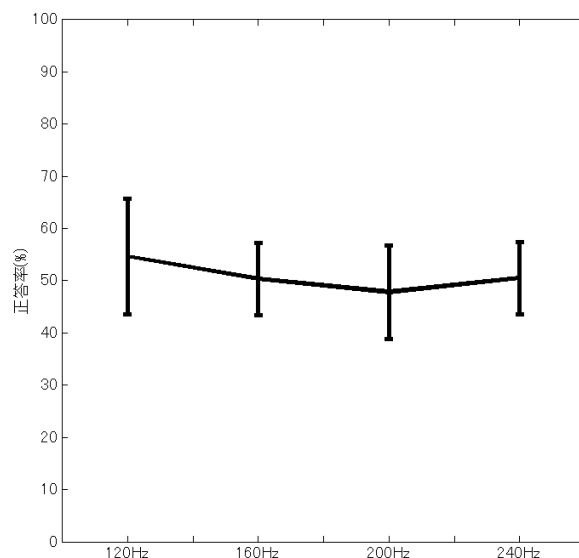


図 37 実験 3 の正答率

図 38 に実験条件ごとの正答率の参加者間平均値を示す．縦軸は正答の割合で全問正解で 1 の値を取る．横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である．エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の正答の割合の標準偏差である．

フリッカなし条件 とフリッカあり条件の 2 条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5 %) , 120 Hz で $p = 0.6102$, 160 Hz で $p = 0.8725$, 200 Hz で $p = 0.0472$, 240 Hz で $p = 0.7054$ となった．200 Hz で有意差があった．

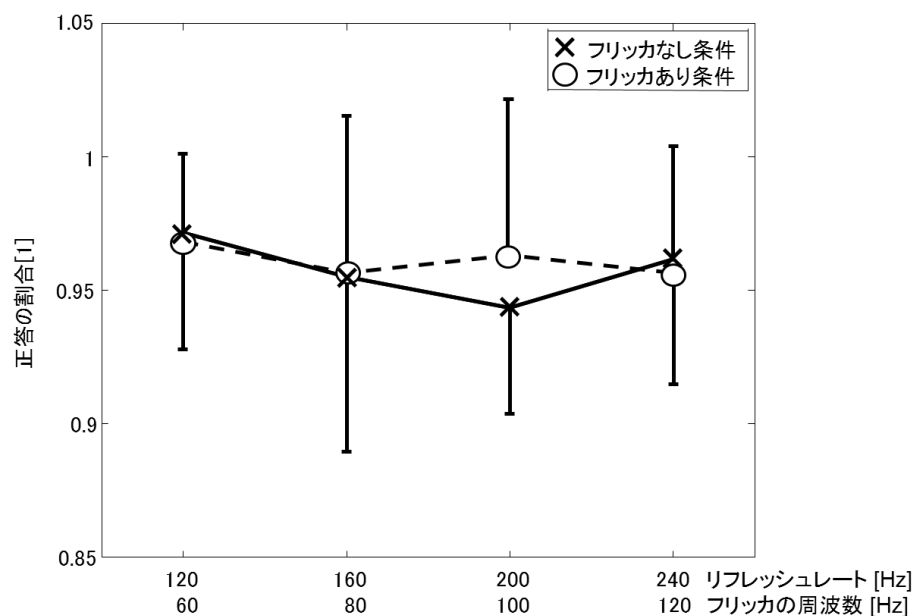


図 38 刺激条件間の正答率の違い

図 39 に反応時間の参加者間平均値を示す。

上のグラフの縦軸は反応時間の平均値、横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である。エラーバーはそれぞれの条件の参加者間の標準誤差である。

下のグラフの縦軸はフリッカあり条件とフリッカなし条件平均反応時間の差分である。上のグラフでフリッカあり条件の平均反応時間がフリッカなし条件の平均反応時間より短いと、その分の正の値を取る。エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の標準誤差で、フリッカあり条件の平均反応時間とフリッカなし条件の平均反応時間の差が参加者の間でどれくらい違うか示す値である。フリッカなし条件 とフリッカあり条件の 2 条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5%) , 120 Hz で $p = 0.5722$, 160 Hz で $p = 0.7852$, 200 Hz で $p = 0.7033$, 240 Hz で $p = 0.1867$ となった。どの周波数でも有意差はなかった。

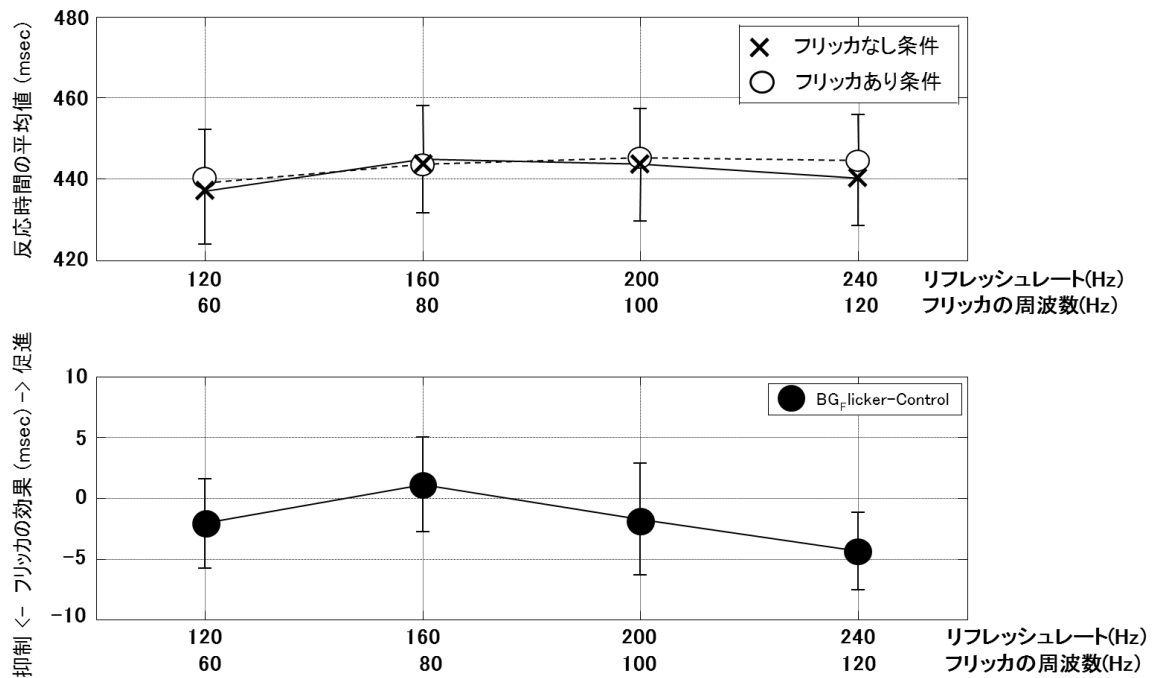


図 39 反応時間の参加者間平均

本実験では、試行ごとの反応時間が必ずしも正規分布に従っていなかったため、平均反応時間に加えて反応時間の中央値についても同様の分析を行なった。

図 40 上図は各参加者の反応時間中央値の参加者間平均値および標準誤差を示したものである。下図は二つの実験条件間での中央値の差の参加者間平均値と標準誤差をまとめたものである。フリッカなし条件 とフリッカあり条件の 2 条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5 %) , 120 Hz で $p = 0.1196$, 160 Hz で $p = 0.8678$, 200 Hz で $p = 0.6756$, 240 Hz で $p = 0.7234$ となった。どの周波数でも有意差はなかった。

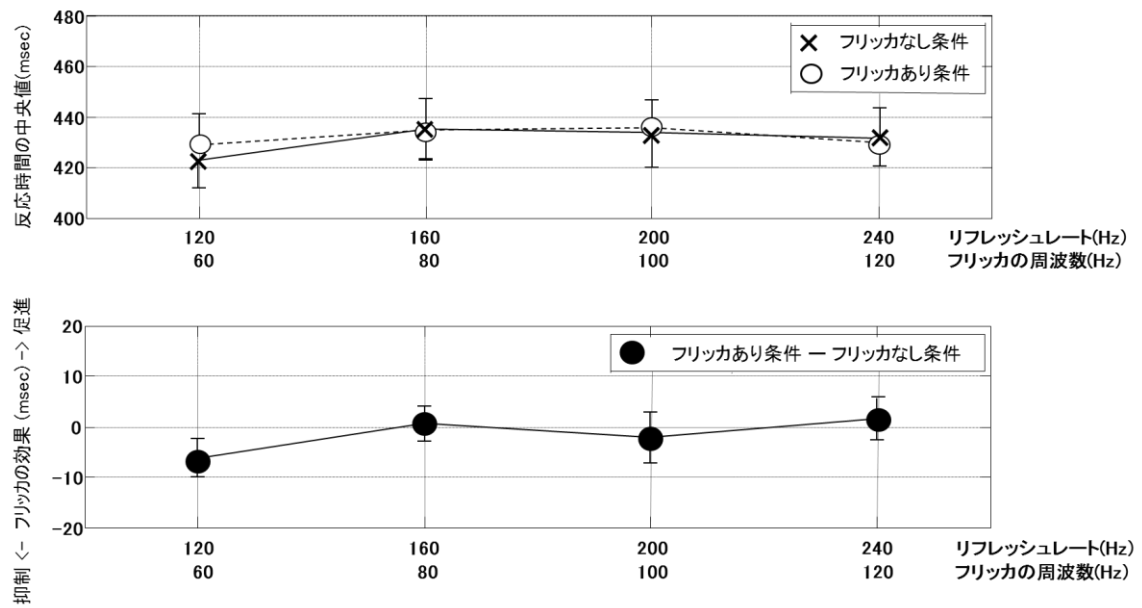


図 40 参加者ごとの反応時間中央値の参加者間平均

図 41 から図 44 に参加者の内一人の反応時間のヒストグラムを示す. 縦軸は頻度, 横軸は反応時間である. ビン幅は 10 ms である.

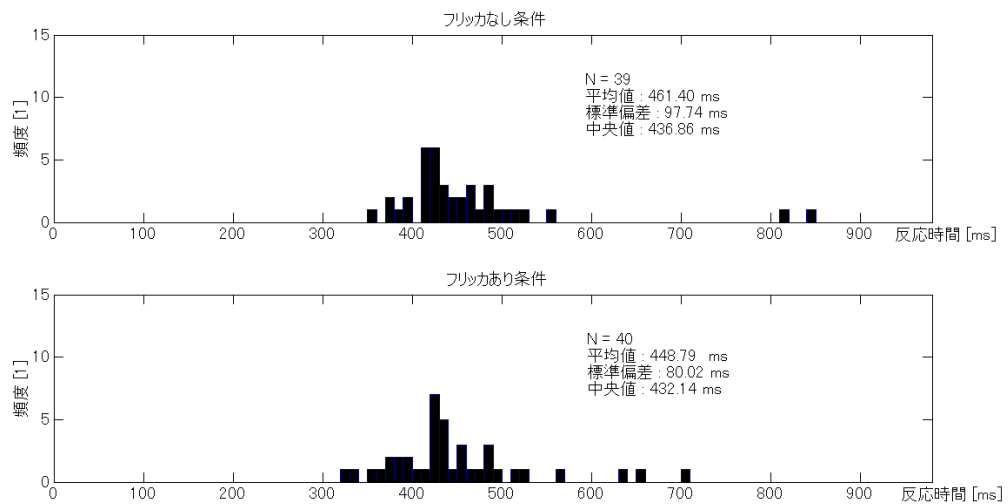


図 41 リフレッシュレート 120 Hz の条件での反応時間の分布

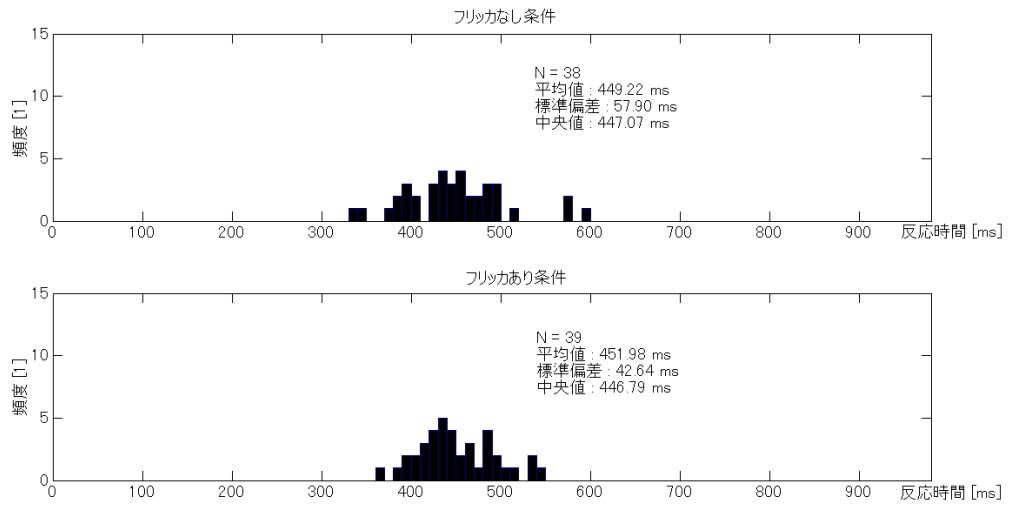


図 42 リフレッシュレート 160 Hz の条件での反応時間の分布

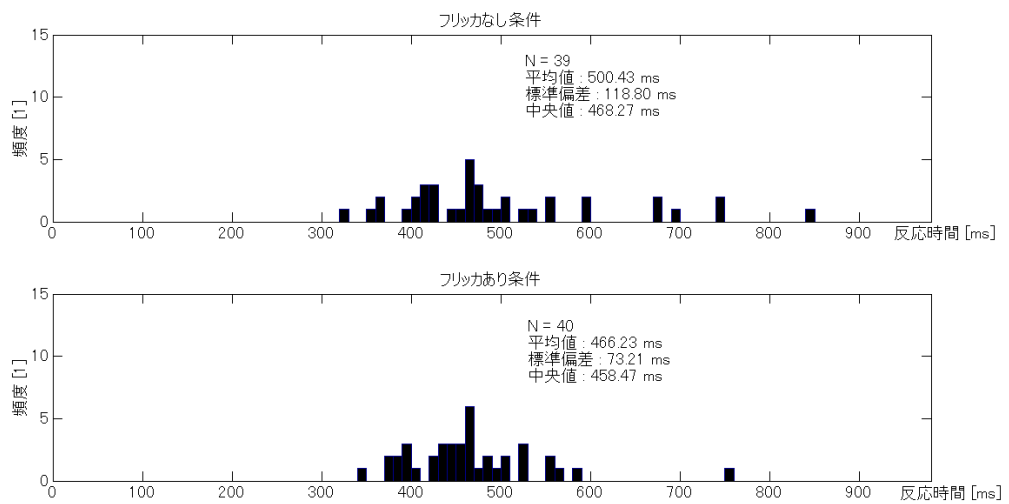


図 43 リフレッシュレート 200 Hz の条件での反応時間の分布

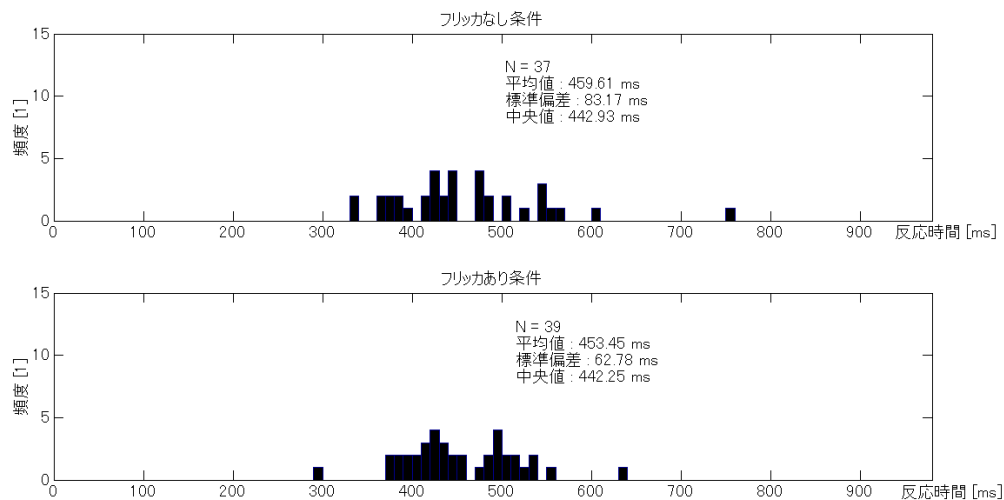


図 44 リフレッシュレート 240 Hz の条件での反応時間の分布

3.3.12 実験の考察

選択反応課題の正答率を 200 Hz の 2 条件で t 検定した結果が $p = 0.0472$ で有意差があった。

しかし、選択反応課題の反応時間に対して、中央値の時 2 条件でどの周波数でも t 検定で有意な差が見られなかった。

3.3.13 後半 4 ブロックのみで解析を行った場合

3.3.11 ではどの周波数でも t 検定で有意な差が見られなかった。そこで、前半 4 ブロックはまだタスクに慣れてないと仮定して後半 4 ブロックのみで解析を行った (120 Hz, 200 Hz, 240 Hz では練習を行っていないので特にタスクに慣れてないと考えられる)。また後半 4 ブロックのうち 1 つの条件でも標準偏差が 100 を上回った場合は実験課題を適切に行っていないと考え解析から除いた。よって参加者 7 人分の解析を行うことになった。

結果

図 45 は 7 人分の実験 3 の弁別実験の結果をまとめたものである。この図の縦軸は正答率の参加者間平均値を示していて横軸はその時のリフレッシュレートである。エラーバーは参加者間の標準偏差を示している。この図からわかるように、160 Hz, 200 Hz, 240 Hz で正答率がほぼ 50 %であり、2 つの条件の弁別はできないことが確認できた。

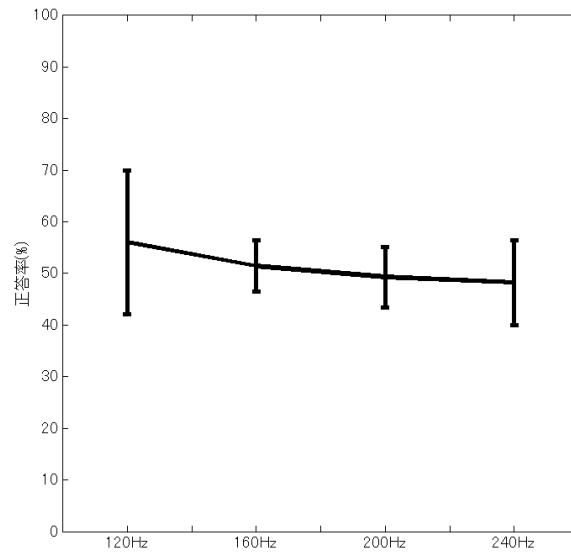


図 45 7 人分の弁別課題の正答率

図 46 に実験条件ごとの正答率の参加者間平均値を示す．縦軸は正答の割合で全問正解で 1 の値を取る．横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である．エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の正答の割合の標準偏差である．

フリッカなし条件 とフリッカあり条件の 2 条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5 %) , 120 Hz で $p = 0.6891$, 160 Hz で $p = 0.4072$, 200 Hz で $p = 0.0941$, 240 Hz で $p = 0.5222$ となった．どの周波数でも有意差はなかった．

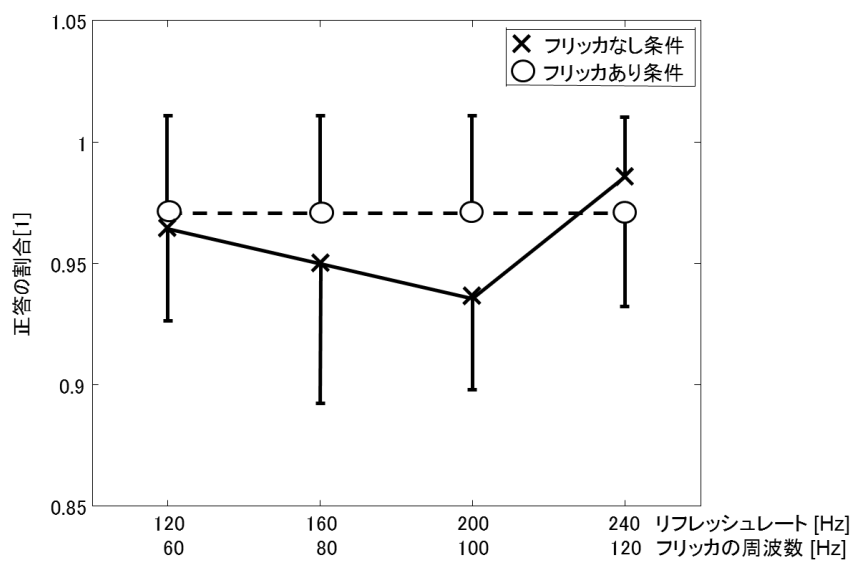


図 46 刺激条件間の正答率の違い

図 47 に反応時間の参加者間平均値を示す。

上のグラフの縦軸は反応時間の平均値、横軸はリフレッシュレートとフリッカの周波数である。エラーバーはそれぞれの条件の参加者間の標準誤差である。

下のグラフの縦軸はフリッカあり条件とフリッカなし条件平均反応時間の差分である。上のグラフでフリッカあり条件の平均反応時間がフリッカなし条件の平均反応時間より短いと、その分の正の値を取る。エラーバーはそれぞれの条件で参加者間の標準誤差で、フリッカあり条件の平均反応時間とフリッカなし条件の平均反応時間の差で参加者の間でどれくらい違うか示す値である。フリッカなし条件とフリッカあり条件の2条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5 %), 120 Hz で $p = 0.3855$, 160 Hz で $p = 0.5874$, 200 Hz で $p = 0.1058$, 240 Hz で $p = 0.9688$ となった。どの周波数でも有意差はなかった。

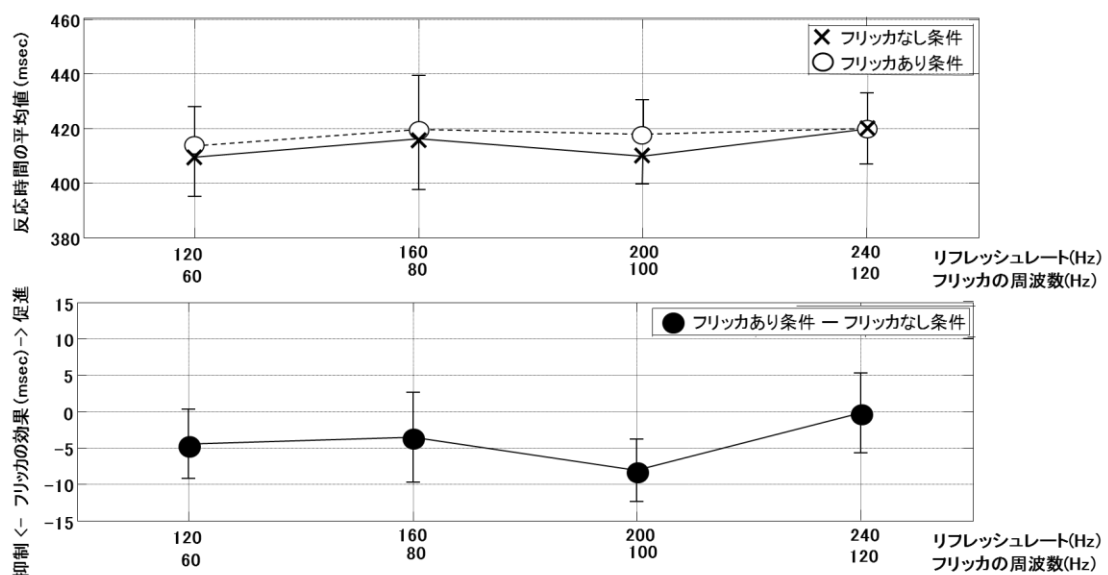


図 47 反応時間の参加者間平均

また、平均反応時間に加えて反応時間の中央値についても同様の分析を行なった。図 48 上図は各参加者の反応時間中央値の参加者間平均値および標準誤差を示したものである。下図は二つの実験条件間での中央値の差の参加者間平均値と標準誤差をまとめたものである。フリッカなし条件とフリッカあり条件の2条件間でそれぞれの周波数で t 検定をかけたところ (有意水準 5 %), 120 Hz で $p = 0.2537$, 160 Hz

で $p = 0.9335$, 200 Hz で $p = 0.0231$, 240 Hz で $p = 0.9106$ となった 200 Hz で有意差があった.

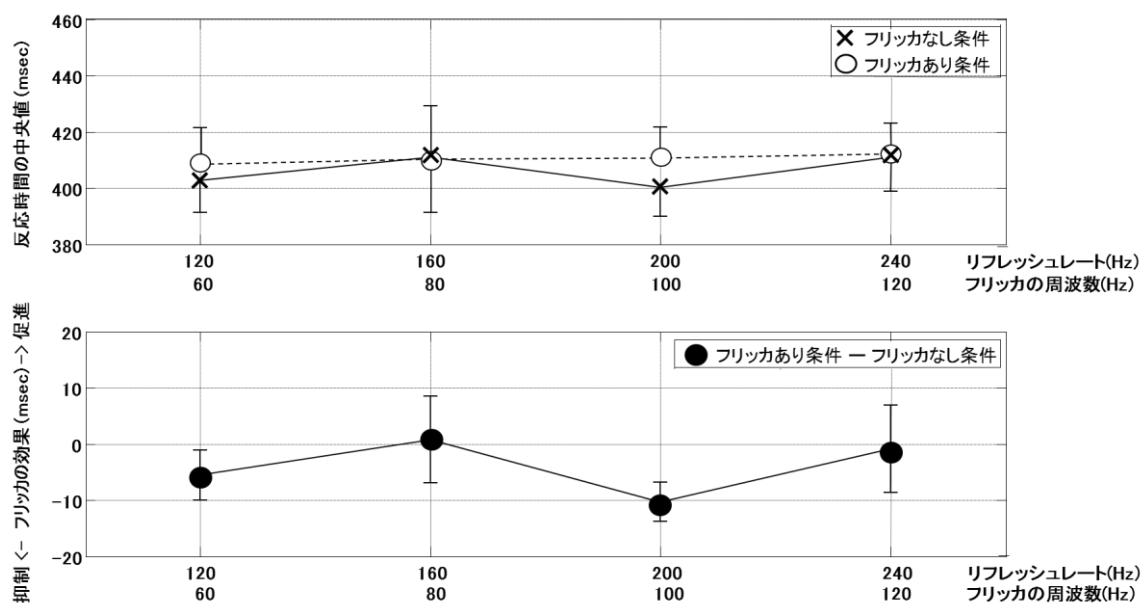


図 48 参加者ごとの反応時間中央値の参加者間平均

第4章 むすび

本研究では、視覚的注意に関する研究の中で Posner らの実験と Bauer らの実験と Lu らの実験に着目し、ちらつきが知覚されない背景領域の高速フリッカが選択反応課題で成績に影響を及ぼすか調査した。

実験1ではリフレッシュレートが 100 Hz と 120 Hz で目標の位置のフリッカが反応を促進させることを示した。これにより、高速プロジェクタを使って視覚刺激の対象をガボールパッチから四角形に変更しても、Bauer らの実験結果と同じ傾向が現れることが確認できた。実験2では 160 Hz で背景領域の高速フリッカが反応を促進させることを示した。しかし、実験2では1ブロックに1回あるかないかで手がかり刺激と目標刺激の移り変わる時にフラッシュが起きることがわかった。それが少なからず参加者の反応時間に影響を与えると考え、問題点を改善して実験3を行った。実験3では背景領域のフリッカの有無の2条件で、解析範囲を限定した場合に 200 Hz で有意差があり、2条件の弁別ができない状態で背景領域のフリッカが反応を抑制させることを示した。

しかし、本研究では実験2と実験3で実験結果が異なるなど安定した結果が出せなかった。よってちらつきが知覚されない背景領域の高速フリッカが選択反応課題で成績に影響を及ぼすかという問いに対し、明確な結論を下せなかった。今後さらに実験手続きを改善して、確固とした成果を出すことが望まれる。

参考文献

- [1] 横澤一彦: 視覚科学, 株式会社 勁草書房, pp. 104-128, 2010.
- [2] Posner, M. I.: Orienting of attention, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, pp. 1-25, 1980.
- [3] Frank Bauer, Samuel W. Cheadle, Andrew Parton, Hermann J. Müller and Marius Usher: Gamma flicker triggers attentional selection without awareness, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 106, pp. 1666-1671, 2008.
- [4] Shena Lu, Yongchun Cai, Mowei Shen, Ying Zhou, Shihui Han: Alerting and orienting of attention without visual awareness, *Consciousness and Cognition*, Volume 21, Issue 2, pp. 928-938, 2012.
- [5] 篠森 敬三: 講座 < 感覚・知覚の科学 > 1 視覚 I —視覚系の構造と初期機能—, 朝倉書店, pp. 4, 2007.
- [6] 塩入 諭: 講座 < 感覚・知覚の科学 > 2 視覚 II —視覚系の中期・高次機能—, 朝倉書店, pp. 183, 2007.
- [7] Rosanne M. van Diepen, Sabine Born, David Souto, Angélique Gauch and Dirk Kerzel: Visual Flicker in the Gamma-Band Range Does Not Draw Attention, *J Neurophysiol*, 103, pp. 1606–1613, 2010.
- [8] William Raft Kunst-Wilson and R. B. Zajonc: Affective Discrimination of Stimuli that cannot be Recognized, *Science, New Series*, Vol. 207, No. 4430, pp. 557-558, 1980.
- [9] ZAJONC, ROBERT B.: ATTITUDINAL EFFECTS OF MERE EXPOSURE, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol 9 (2, Pt.2) , pp. 1-27, 1968.
- [10] 日本視覚学会 (編): 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, pp. 219, 2000.
- [11] 大石 巖, 畑田 豊, 田村 徹: シリーズ 先端ディスプレイ技術 I ディスプレイの基礎, 共立出版株式会社, pp. 114, 2001.
- [12] Christoph S. Herrmann: Human EEG responses to 1–100 Hz flicker: resonance phenomenon in visual cortex and their potential correlation to cognitive phenomena, *Exp Brain Res*, 137, pp. 346–353, 2001.
- [13] Patrick E. Williams, Ferenc Mechler, James Gordon, Robert Shapley and Michael J. Hawken: Entrainment to Video Displays in Primary Visual Cortex of Macaque and Humans, *The Journal of Neuroscience*, 24 (38) , pp. 8278–8288, 2004.

- [14] Womelsdorf, Thilo: The role of neuronal synchronization in selective attention
Current Opinion in Neurobiology, 17, pp. 1–7, 2007.
- [15] Jason Ivanoff and Raymond M. Klein: Orienting of attention without awareness is
affected by measurement-induced attentional control settings, Journal of Vision, 3,
pp. 32–40, 2003.

謝辞

本研究を進めるにあたり、多数のご指導をしてくださった阪口豊教授に深く感謝とお礼を申し上げます。さらに助言をくださった佐藤俊治准教授、佐藤好幸助教、饗庭絵里子助教に感謝申し上げます。

また、毎回助言をくださった中嶋豊特任助教、井上康之特任助教に心より御礼申し上げます。

横山裕樹さんと藤田一寿さんにも助言をくださいまして、ありがとうございました。

秘書の津田さん、堀地さんにも会計でお世話になりました。

また、人間情報学講座の博士後期課程の学生の皆様、博士前期課程の学生の皆様にも良き意見をいただきました。ありがとうございました。

最後に、本研究の参加者をやってくさいました皆様、本研究にご協力いただきありがとうございました。心より感謝申し上げます。